MARAGE

DOCTEUR EN MÉDECINE

ET

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PROFESSEUR LIBRE A LA SORBONNE

Petit Manuel

de

PHYSIOLOGIE DE LA VOIX

à l'usage

des

CHANTEURS ET DES ORATEURS

Leçons recueillies par
Madame Marage, pré-
parateur du Cours.

Prix : [illegible] Francs

CHEZ L'AUTEUR
14, Rue Duphot, Paris.



[illegible]

Docteur MARAGE

Hommage de l'auteur
Marage

Petit Manuel

de

PHYSIOLOGIE DE LA VOIX

à l'usage des

CHANTEURS ET DES ORATEURS

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

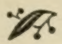
MARAGE

DOCTEUR EN MÉDECINE

ET

DOCTEUR ÈS SCIENCES

PROFESSEUR LIBRE A LA SORBONNE



Petit Manuel

de

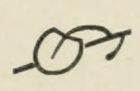
PHYSIOLOGIE DE LA VOIX

à l'usage

des

CHANTEURS ET DES ORATEURS

Leçons recueillies par Madame Marage, préparateur du Cours.



PRÉFACE

J'ai résumé dans ce manuel douze leçons du cours libre de physique biologique que je fais depuis sept ans à la Sorbonne sur la Phonation et l'Audition.

J'ai supprimé toute la partie technique trop austère pour les trois cents professeurs et élèves de chant et de diction qui suivent ce cours chaque année. On retrouvera cette partie théorique dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences *et dans le* Bulletin de la Société française de Physique ; *un index bibliographique est placé à la fin de ce manuel.*

L'audition qui, certaines années, a été traitée en six cours, est réduite ici à un seul chapitre ; cette partie n'intéresse les professeurs de chant qu'au point de vue de l'oreille fausse et de l'oreille musicale.

Le programme de ce manuel est très simple. J'ai suivi la destinée d'une onde sonore depuis son point de départ jusqu'à son point d'arrivée.

En effet, qu'est-ce qu'a besoin de savoir, au point de vue scientifique, un élève de chant ou de diction ? Ce qui se passe lorsque :

Un artiste parle ou chante dans une salle en se fatiguant plus ou moins devant des auditeurs qui écoutent des opéras ou des tragédies. *Cette phrase contient tout le programme du cours.*

Un artiste est une machine parlante **composée :**

L'onde sonore est arrivée à son but, et le programme est rempli sans que j'aie eu une seule fois l'occasion de parler musique ou méthode de chant. J'ajoute que ce manuel est un résumé très suffisant pour ceux qui ont suivi mes cours de la Sorbonne, insuffisant pour les autres : ces derniers peuvent compléter leurs connaissances dans les ouvrages suivants :

Bordier, Physique biologique (*Doin*) ;

Anglas, Précis d'acoustique (*Paulin*) ;

Ganot-Maneuvrier, Traité de physique (*Hachette*) ;

Lemoine et Vincent, Cours élémentaire de physique (*Belin*) ;

Gandillot, la Gamme (*Gauthier-Villars*) ;

Vincé, l'Harmonie (*Hamelle*) ;

Jules Lefort, la Voix chantée (*Lemoine*) ;

J'ai trouvé, en effet, inutile de répéter la description d'expériences et d'appareils que l'on trouve dans les ouvrages classiques.

Ce Manuel ne contient donc que celles de mes recherches personnelles qui intéressent les professeurs et les élèves de chant et de diction. J'ajoute en terminant cette préface que mes auditeurs sont, en réalité, les auteurs de ce Manuel, car c'est sur leurs instances que je me suis décidé à l'écrire.

J'ai laissé deux pages en blanc à la fin de chaque chapitre, pour permettre au lecteur de compléter certaines données. Chacun se fera ainsi à lui-même son manuel de physiologie.

Paris, 15 janvier 1911.

CHAPITRE PREMIER

LES POUMONS

---

§ I. — Respiration normale ou physiologique.

1. Inspiration. — 2. Expiration.
3. Appareils de mesure.
4. Muscles inspirateurs et expirateurs.

§ II. — Obstacles à la respiration.

1. d'Origine interne. — 2. d'Origine externe.

§ III. — Détermination de la qualité d'un acte respiratoire.

1. Tableaux de la respiration. — 2. Appareils de mesure.
3. Résultats : *a* Respiration bonne ; *b* Respiration mauvaise.
4. Conclusions.

§ IV. — Développement de l'appareil respiratoire.

1. Développement des muscles inspirateurs.
2. Développement des muscles expirateurs.
3. Résultats : *a* chez les enfants ; *b* chez les adultes.

§ V. — Travaux à faire.

CHAPITRE PREMIER

LES POUMONS

§ I. — RESPIRATION NORMALE OU PHYSIOLOGIQUE

La respiration est une fonction qui a pour but de mettre au service de l'orateur et du chanteur un certain volume d'air.

Chaque acte respiratoire se compose de deux parties : l'entrée de l'air, l'*inspiration;* la sortie de l'air, l'*expiration;* on ne parle que pendant l'expiration.

1. — Inspiration.

L'*inspiration* se fait de deux façons : 1° par l'élévation et l'écartement des côtes (respiration thoracique supérieure et inférieure); 2° par l'abaissement du diaphragme et le refoulement des intestins (respiration diaphragmatique, appelée encore respiration abdominale).

L'homme et la femme respirent de la même façon.

On doit avoir à sa disposition les deux procédés de manière à faire entrer le plus d'air possible dans les poumons sans se fatiguer.

En moyenne on compte seize actes respiratoires par minute. Une inspiration ordinaire fait pénétrer 1/2 litre d'air dans les poumons ou 8 litres par minute, 480 litres par heure.

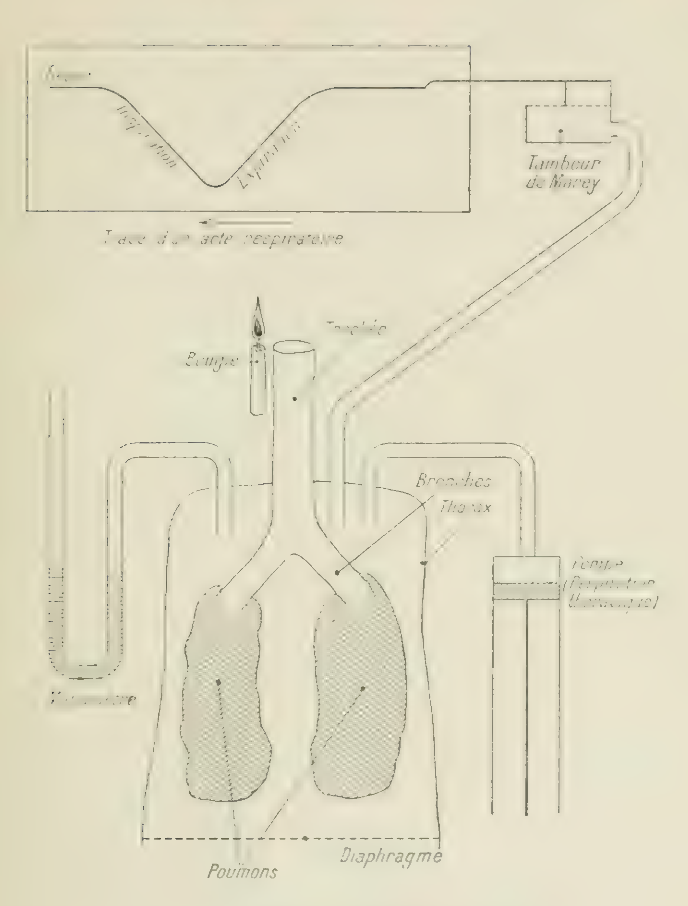


Fig. 1. — Poumons schématiques au repos.

Une inspiration profonde fait pénétrer un volume d'air qui varie suivant la taille, le poids, le tour de poitrine, etc.; ce volume maximum d'air qui peut pénétrer ou sortir est ce qu'on appelle la capacité vitale V; il varie chez l'homme de $2^l,50$ à $4^l,75$, suivant la taille; chez la femme, de 2 à 4 litres.

Il reste toujours dans les poumons un certain volume d'air qu'on ne peut jamais faire sortir et qui, par conséquent, ne sert pas pour la phonation : c'est l'air résiduel : sa valeur moyenne est de 2 litres.

Le contenu total des poumons se compose donc de la somme de l'air résiduel et de la capacité vitale.

2. — Expiration.

L'*expiration* se fait presque seule, car les poumons élastiques tendent à revenir sur eux-mêmes et à chasser une partie de l'air qu'ils contiennent ; dans une expiration profonde, il intervient des muscles dont on parlera plus loin.

3. — Appareils de mesure.

On détermine la place des poumons et en général de tous les organes contenus dans le tronc par le *phonendoscope* (*fig.* 22).

On détermine la capacité vitale V par des compteurs à gaz que l'on appelle des *spiromètres* (*fig.* 8).

On détermine les variations de tour de poitrine à différentes hauteurs par les *thoracimètres* (mètre à ruban).

On inscrit la durée et l'amplitude de l'inspiration et de l'expiration par la *méthode graphique* (*fig.* 1).

On doit à volonté pouvoir faire varier la durée de l'inspiration et de l'expiration ; on y arrive par les exercices respiratoires (page 25).

L'énergie de la voix est donnée par le produit VH; V est le

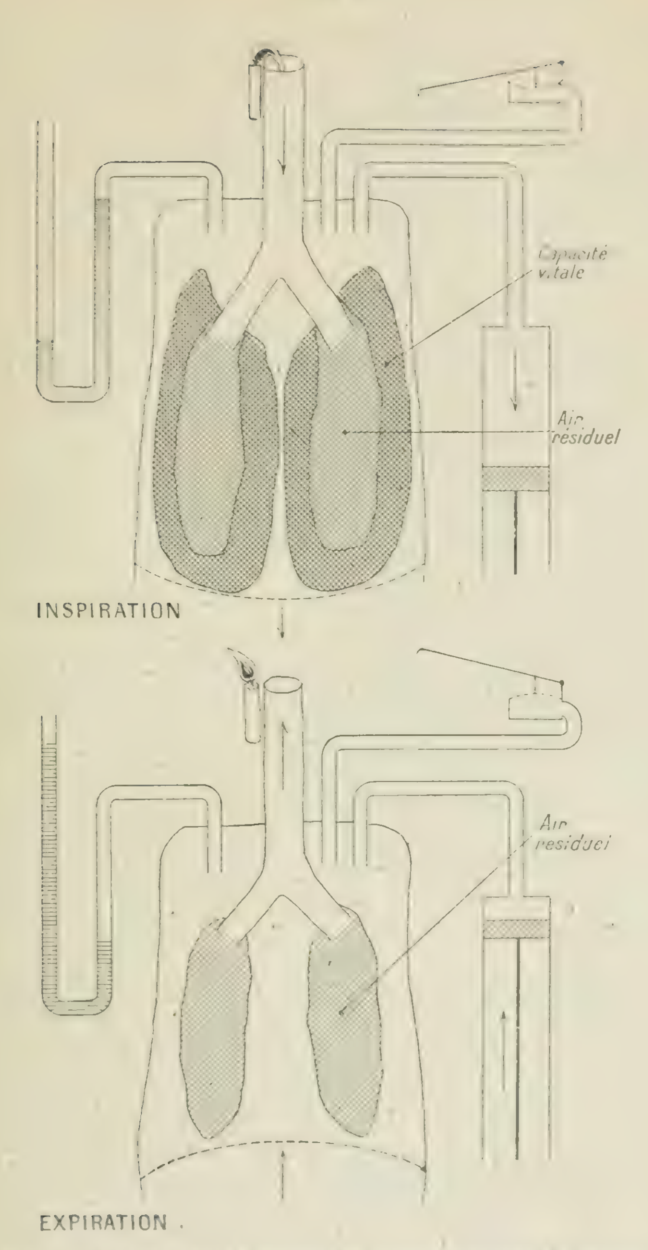


Fig. 2. — Changement de volume des poumons pendant le passage de l'inspiration à l'expiration.

volume d'air qui s'échappe des poumons sous une pression H. Les poumons, par leur élasticité, tendent à revenir sur eux-mêmes; les côtes tendent à s'abaisser, donc l'air tend à s'échapper sous une certaine pression H.

Cette pression varie de 0 à 200 millimètres d'eau pendant l'expiration; pendant la phonation, elle varie de 150 à 200 millimètres d'eau.

4. — Muscles inspirateurs et expirateurs

Muscles inspirateurs. — Trois principaux :

1° Le petit pectoral, qui va des 3e, 4e et 5e côtes à l'épaule (apophyse coracoïde);

2° Le grand pectoral qui va des sept premières côtes à la partie supérieure de l'os du bras (humérus);

3° Le diaphragme qui forme une cloison mobile séparant le thorax (poumons et cœur) du ventre (estomac, foie, intestins).

Les deux premiers muscles augmentent les diamètres transversaux du thorax; le troisième, le diamètre vertical.

Pour savoir si un élève sait respirer, il suffit de prendre un mètre à ruban et de déterminer l'augmentation du tour de poitrine en passant d'une expiration profonde à une inspiration profonde.

Cette mesure du tour de poitrine doit être faite à trois niveaux différents : *a*) le mètre passe sous les bras au niveau des aisselles : respiration thoracique supérieure : *b*) le mètre passe au niveau de la pointe du sternum (creux de l'estomac) : respiration thoracique inférieure; *c*) le mètre passe au niveau de l'estomac et des fausses côtes (respiration diaphragmatique). (On représente graphiquement les résultats) (page 17).

Il doit y avoir une augmentation de la circonférence du tronc à ces trois niveaux; cette augmentation varie avec le sexe, l'âge, la taille et le poids du sujet.

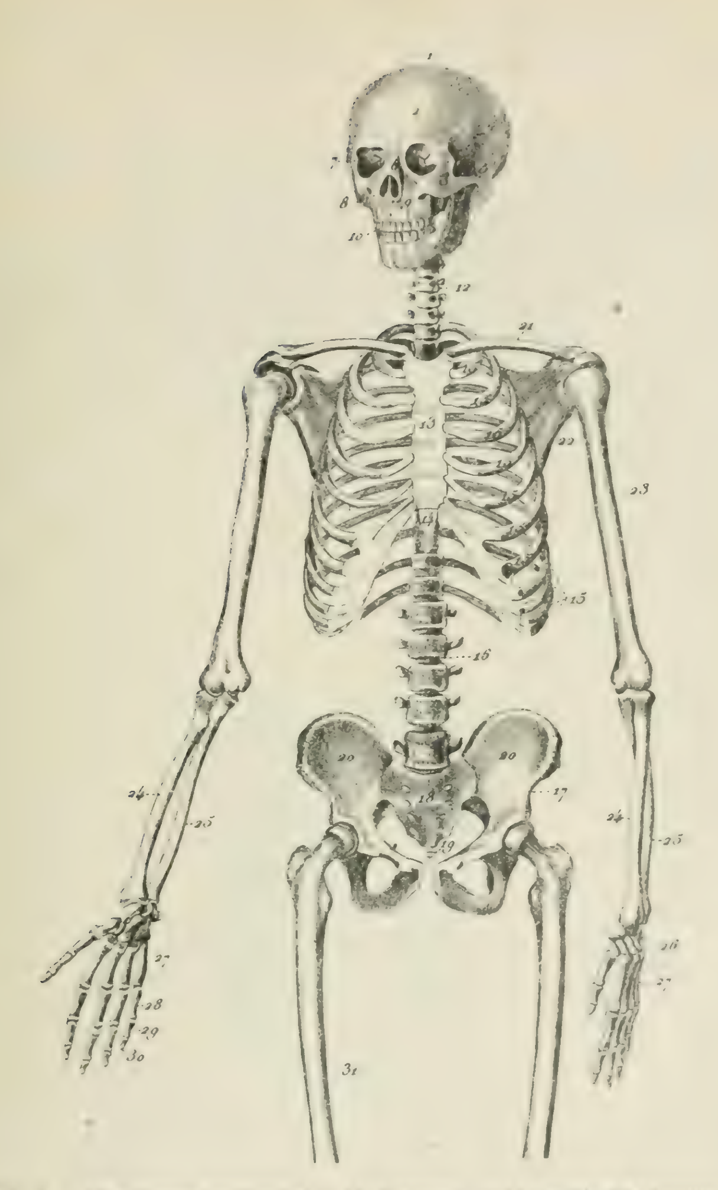


Fig. 3. — 12, colonne vertébrale ; — 13, sternum ; — 14, pointe du sternum ; 15, côtes ; — 21, clavicule ; — 22, omoplate ; — 23, humérus

La mesure du milieu est la seule qui soit indiquée dans les tableaux des pages 12 et 14.

Muscles expirateurs. — Les poumons étant élastiques tendent à revenir sur eux-mêmes et à chasser une partie de l'air qu'ils contiennent.

Pour faire une expiration plus profonde ou pour chasser l'air sous une pression, H, plus grande, on contracte les muscles de la paroi abdominale (muscles droits au milieu, muscles grand oblique et petit oblique sur les côtés) ; les côtes inférieures s'abaissent, les intestins sont refoulés et la cavité thoracique diminue de volume dans tous ses diamètres.

On mesure indirectement la puissance des muscles expirateurs par le volume d'air, V, que l'on peut faire sortir des poumons dans une expiration profonde (capacité vitale, spiromètres). On ne peut mesurer H directement que sur les sujets munis d'une canule trachéale.

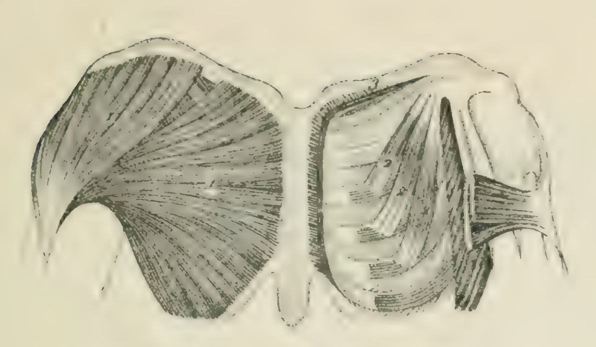


Fig. 4. — Muscles inspirateurs.
1, grand pectoral : — 2, petit pectoral : — 3, clavicule.



Fig. 5. — Muscles expirateurs.
1, droit de l'abdomen : — 2, aponévrose : — 3, grand oblique : — 4, petit oblique.

§ II. — OBSTACLES A LA RESPIRATION

Les obstacles à la respiration sont de deux sortes :

1° *D'origine interne :* inflammation des poumons, digestion non faite ou mal faite, dilatation des intestins, surcharge graisseuse, névralgies ou rhumatismes musculaires, palpitations, trac (système nerveux) ;

2° *D'origine externe :* vêtements mal compris, corset mal fait, corset trop serré, corset mal placé, corset mal mis.

On comprend, en effet, que le corset peut empêcher le refoulement des intestins et, par suite, le fonctionnement du diaphragme ; on n'a plus alors à sa disposition que la respiration thoracique, alors V est trop petit. De plus II devient trop petit, parce que le corset remplaçant les muscles de la paroi abdominale, ceux-ci cessent de se contracter (ventre mou, en tablier) et s'atrophient.

Un corset trop serré fait engraisser, parce que la respiration étant incomplète, on n'absorbe pas assez d'oxygène et on ne peut plus brûler ses carbures d'hydrogène, c'est-à-dire sa graisse.

Tous les organes du bas ventre sont abaissés, et les reins deviennent flottants.

De plus, la circulation, qui est fonction de la respiration, se fait mal, d'où congestion du larynx, du pharynx et de la face.

Un corset n'est supportable que s'il ne dépasse pas les fausses côtes et ne comprime pas la taille : en bas, il soutient la masse intestinale et peut être plus serré ; les jarretelles bien mises l'empêchent de remonter.

On ne doit jamais mettre son corset étant debout, il faut le mettre étant étendue sur un lit, et commencer par accrocher les agrafes du bas, afin de bien remonter tous les organes abdominaux.

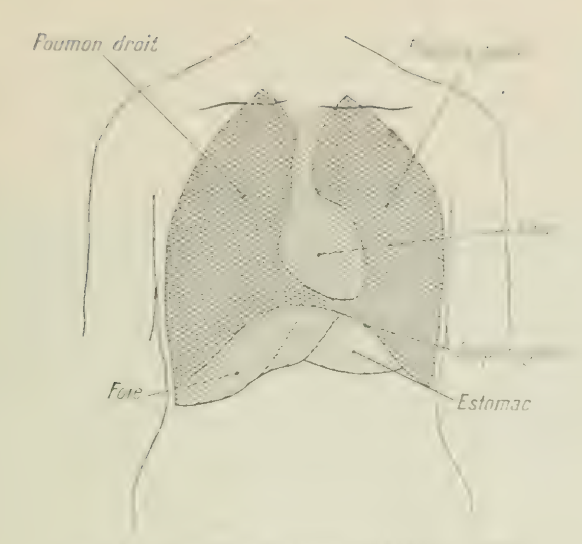


FIG. 6. — Position des organes à l'état normal.

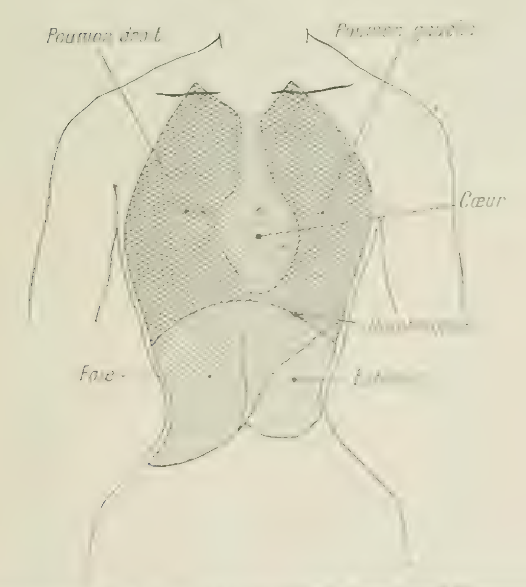


FIG. 7. — Déplacement des organes par un corset trop serré et montant trop haut.

§ III. — DÉTERMINATION DE LA QUALITÉ D'UN ACTE RESPIRATOIRE

De même qu'un tuyau d'orgue vibre mal quand la soufflerie marche mal, le larynx fonctionne mal quand les poumons sont insuffisants. Il faut donc chercher si l'élève sait respirer, c'est-à-dire s'il sait faire fonctionner ses muscles inspirateurs et expirateurs. Il faut d'abord avoir des points de repère, c'est-à-dire savoir quelles doivent être, chez un sujet normal de taille déterminée, le poids, la capacité vitale et le périmètre thoracique mesuré, pendant une expiration profonde, au niveau de la pointe du sternum.

Ces données sont contenues dans les deux tableaux suivants :

1. — Tableaux.

Anglais.

HOMMES			TAILLE	FEMMES		
TOUR de poitrine après l'expiration	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS		TOUR de poitrine au-dessous des seins	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS avec vêtements
99	4,752	75	183	83	3,900	65
97	4,588	74	180	82	3,764	64
96	4,425	73	178	81	3,621	63
95	4,261	72	175	79	3,490	62
93	4,097	71	173	78	3,343	61
92	3,933	70	170	77	3,212	60
91	3,769	69	168	76	3,063	59
89	3,605	68	165	75	2,932	58
88	3,441	67	163	74	2,785	57
86	3,277	66	160	72	2,654	56
85	3,114	65	158	71	2,506	55
84	2,950	64	155	70	2,375	54
82	2,785	63	152	69	2,228	53
81	2,622	62	150	68	2,097	52
79	2,458	61	147	63	1,949	51



Fig. 8. — Spiromètre servant à mesurer la capacité vitale V

Français (1).

HOMMES			TAILLE	FEMMES		
TOUR de poitrine	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS		TOUR de poitrine	CAPACITÉ VITALE en centimètres cubes	POIDS
86	4,40	70,7	177			
86	4,29	69,7	176			
86	4,35	70	175			
87	4,56	70,3	174			
87	4,17	73,1	172			
84	3,86	64,7	171			
84	3,91	65	170			
84	3,85	63	169			
82	3,55	61	165			
81	3,32	59,4	164			
82	3,49	58,7	163			
82	3,41	58,8	162	75	3,05	58,5
			161	75	3,26	58,5
			159	74	3,03	58,5
			155	72	2,68	55,2
			154	74	2,72	55,3
			152	71	2,39	53,6
			151	72	2,49	53,6
			149	71	2,36	51,9
			147	72	2,51	53,2

Chez les artistes et chez les orateurs, la mesure du périmètre thoracique au niveau de la pointe du sternum est insuffisante : on trouve en effet chez eux, très inégalement développés, les trois types de respiration, thoracique supérieure, thoracique inférieure et diaphragmatique ; il faut donc prendre la variation du tour de poitrine au niveau de trois plans horizontaux (*fig.* 9) coupant le creux axillaire (1), la pointe du sternum (2), et l'extrémité antérieure de la deuxième fausse côte (3).

(1) Le premier tableau (Anglais) a été fait d'après des mesures prises sur des sujets entraînés à tous les sports (Comité anthropométrique anglais).

Le second tableau (Français) a été fait d'après des mesures prises sur des sujets quelconques. On comprend alors la différence des résultats (Société d'anthropologie, tome 6, V). Il vaut donc mieux prendre comme type le premier tableau.

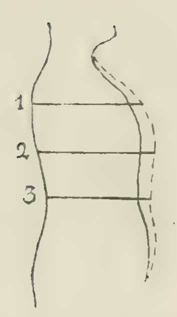


Fig. 9. — Silhouette montrant le niveau des trois mesures : le pointillé indique la position des parois au moment d'une inspiration.

2. — Appareil.

On pourrait à la rigueur employer comme thoracimètre un simple mètre à ruban ; mais comme souvent la variation du périmètre est peu marquée au moment du passage de l'expiration à l'inspiration, j'ai pris un appareil plus sensible. Il se compose simplement d'une poire en caoutchouc, analogue au pneumographe de Lick, qui communique avec un manomètre métallique extrasensible gradué de 0 à 200 millimètres d'eau (*fig.* 10). Au début, on serre la ceinture, au moment d'une expiration profonde, de manière à amener l'aiguille du manomètre à un degré toujours le même ; au moment d'une inspiration, l'air de la poire est comprimé et l'on note sur le graphique (*fig.* 11 et suiv.) la nouvelle indication de l'aiguille ; avec mon appareil une augmentation de pression de 20 millimètres correspondait à une augmentation de périmètre thoracique de 1 centimètre.

3. — Résultats.

Il n'y a pas de respiration masculine et de respiration féminine; il y a des respirations bonnes et des respirations mauvaises, chacune d'elles pouvant être suffisante ou non, suivant le volume d'air expiré.

a) **Respiration bonne.** — Pour que l'acte respiratoire soit bien fait, il faut que la cage thoracique se dilate à peu près également suivant toutes ses dimensions ; les tracés de la figure 3 pris sur des femmes A et C et sur des hommes B et D montrent bien ce phénomène. Il faut de plus que la respiration soit suffisante, c'est-à-dire que la capacité vitale soit en rapport avec l'âge et la taille du sujet.

b) **Respiration mauvaise.** — La respiration se fait mal lorsqu'un des périmètres, inférieur (1) ou supérieur (3), aug-

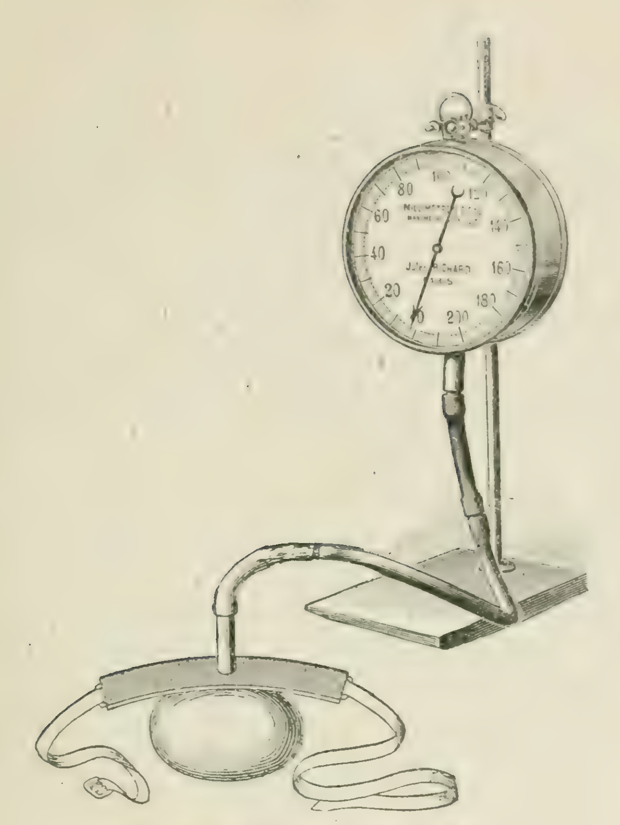


Fig. 10. — Thoracimètre et manomètre.

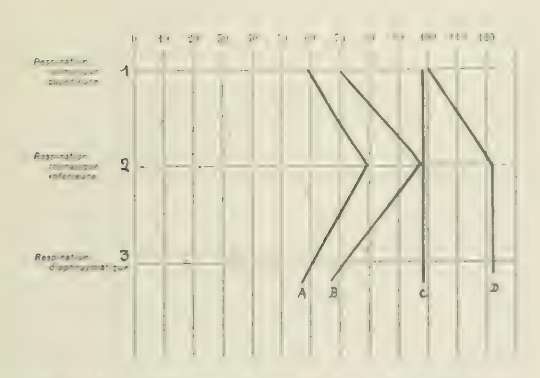


Fig. 11. — Différents types de bonne respiration.

mente beaucoup plus que les autres. Deux cas peuvent se présenter.

Premier cas. — *Augmentation exagérée du périmètre inférieur* (*fig.* 12). — Ces tracés se rencontrent généralement chez les hommes et chez les femmes à vie sédentaire ; les muscles de la paroi abdominale n'ont plus la tonicité suffisante ; le diaphragme, en se contractant, refoule la masse intestinale ; suivant l'expression vulgaire, ces sujets respirent du ventre.

Deuxième cas. — *Augmentation exagérée du périmètre supérieur* (*fig.* 13). — Ces tracés se trouvent surtout chez certains sujets qui font beaucoup de sport et chez les femmes qui portent un corset même non serré; il suffit en effet du moindre obstacle pour changer le type de respiration ; la figure 6 montre le tracé A chez une femme portant un corset *non serré* et le tracé B chez *le même sujet*, le corset étant enlevé. Les muscles de la paroi abdominale n'ont plus aucun travail à effectuer, puisqu'ils sont remplacés par le corset, et ils se laissent refouler trop facilement par le diaphragme, lorsque cet obstacle a disparu.

4. — Conclusions.

1° Pour qu'une respiration soit bonne, il faut que la cage thoracique se dilate suivant toutes ses dimensions ;

2° Pour qu'elle soit suffisante, il faut qu'elle se dilate assez, de manière à obtenir une capacité vitale en rapport avec l'âge, la taille et le poids du sujet ;

3° Chaque élève de chant et de diction devrait avoir une fiche respiratoire donnant non seulement sa taille, son poids, son périmètre thoracique et sa capacité vitale, mais encore la courbe représentant son genre de respiration ;

4° Il est inutile d'apprendre à chanter ou à parler si on ne sait pas respirer, et la plupart des voix se perdent non pas tant par une mauvaise méthode que par une mauvaise respiration.

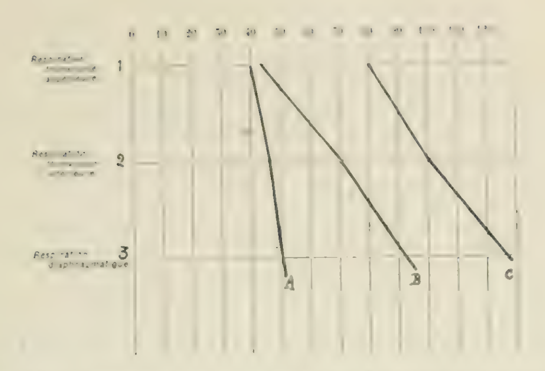


Fig. 12. — Mauvaise respiration avec relâchement des muscles de la paroi abdominale.

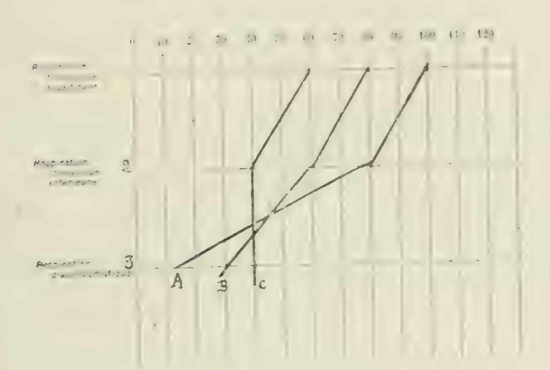


Fig. 13. — Mauvaise respiration avec corset.

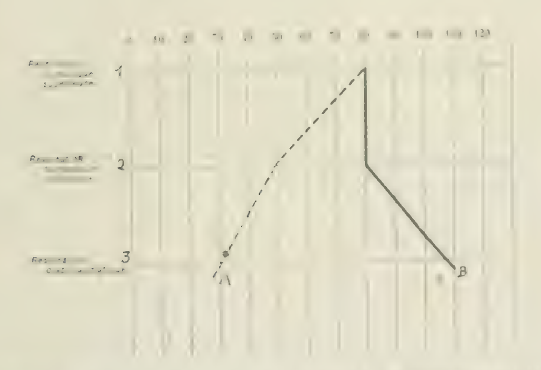


Fig. 14. — Mauvaise respiration avec (A) et sans corset (B).

§ IV. — DÉVELOPPEMENT DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE [1]

1. — Développement des muscles inspirateurs.

L'énergie de la voix étant donnée par le produit VH du volume V d'air qui s'échappe des poumons sous une pression H, il s'agit, pour un chanteur ou un orateur, d'augmenter ces deux quantités.

Nous nous occuperons d'abord du volume V d'air utilisable pour la voix, et nous étudierons comment on peut accroître sa valeur.

Chez les enfants élevés dans les villes et chez beaucoup d'adultes, les sommets des poumons fonctionnent mal; ces sujets se servent du type de la respiration diaphragmatique; les intestins sont refoulés, les muscles de la paroi abdominale cessent de se contracter; il en résulte le gros ventre des hommes de quarante ans et la poitrine étroite et pyriforme de la plupart des enfants qui ne vivent pas à la campagne.

Les traités de gymnastique indiquent un grand nombre de mouvements qui permettent de remédier à ces inconvénients; mais la plupart de ceux qui en auraient besoin n'ont ni le temps ni les moyens de les exécuter.

J'ai cherché les exercices qui donnent les meilleurs résultats, je les ai ramenés à trois que l'on peut apprendre rapidement; ils sont suffisants : la cage thoracique acquiert en quelques mois son volume normal, tandis que les muscles de la paroi abdominale reprennent leur tonicité (2).

(1) J'indique dans le cours à la Sorbonne un grand nombre d'autres procédés qui ne sauraient trouver place dans un résumé.

(2) Ces muscles étant expirateurs, H se trouve augmenté indirectement.

MODÈLE DE FICHE RESPIRATOIRE

	MESURES	NORMALES	OBSERVATIONS
Taille	1,70		
Poids	78	70	+ 8
Tour de poitrine.	86	92	− 6
Capacité vitale.	2,9	3,9	− 1

FIG. 15, *recto*. — On voit que le sujet pèse 8 kilogrammes en trop; son tour de poitrine a 6 centimètres en moins et il manque 1 litre à sa capacité vitale.

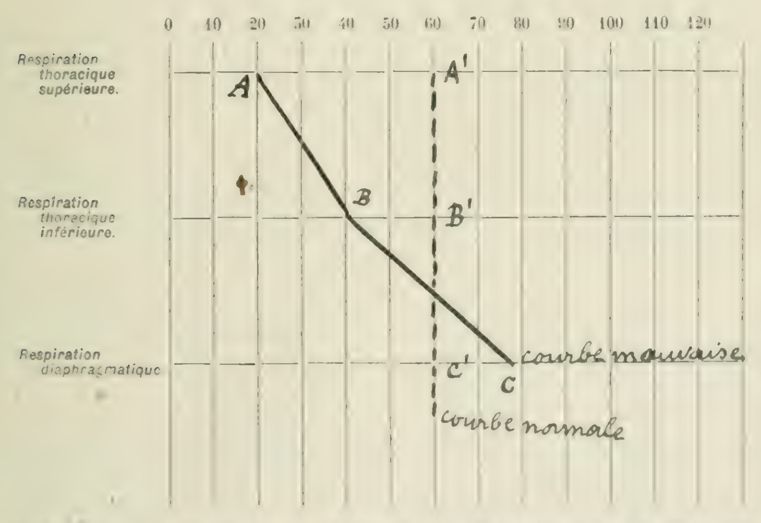


FIG. 16, *verso*. — Son mode de respiration ABC est défectueux : la partie supérieure du thorax respire à peine, et sa respiration diaphragmatique est trop développée : les exercices respiratoires devront le faire maigrir, augmenter son tour de poitrine, augmenter de 1 litre l'air qu'il doit expirer : de plus sa courbe respiratoire devra devenir A'B'C', c'est-à-dire que toutes les parties du thorax devront fonctionner.

Principe. — Développer en même temps les muscles inspirateurs et les muscles fixateurs des omoplates à la colonne vertébrale. Si l'on développait les pectoraux seuls, les épaules seraient attirées en avant, et le sujet serait voûté (attitude des lutteurs).

Règles générales. — 1° Dans tous les exercices, l'inspiration doit être faite par le nez, la bouche fermée ; dans l'expiration, au contraire, la bouche est largement ouverte ;

2° Chaque exercice est répété 10 fois au plus (on commence par 4) ; puis on passe au suivant ; et comme ce ne sont pas les mêmes muscles qui fonctionnent, le deuxième exercice repose du premier ;

3° Chaque jour, loin des repas, on fait dix fois chacun des trois exercices ; on se repose cinq minutes, et l'on recommence une deuxième série des trois mêmes exercices.

Premier exercice (*fig.* 17). — Les bras sont tombants le long du corps, la paume de la main en dedans.

a) *Inspiration.* — On fait décrire aux membres supérieurs, placés parallèlement l'un à l'autre, un arc de 180° dans un plan vertical parallèle au plan médian antéro-postérieur du corps (*fig.* 1, positions 1, 2, 3 ; plan A).

b) *Expiration.* — On abaisse lentement les bras (*fig.* 2, positions 3, 4, 5 ; plan B) dans un plan perpendiculaire au précédent ; l'air s'échappe lentement des poumons par la bouche ouverte pendant que les bras s'abaissent.

Deuxième exercice (*fig.* 18). — Les avant-bras sont repliés de manière que les extrémités des doigts ne se touchent pas sur la ligne médiane, l'avant-bras et le bras se trouvant dans un même plan horizontal ; les bras ne changent pas de position.

a) *Inspiration.* — Les avant-bras, dans le plan horizontal des bras, décrivent un arc de 180° (positions 1, 2, 3 ; *fig.* 1 et 2).

b) *Expiration.* — Les avant-bras reviennent à leur position primitive (positions 3 et 4, *fig.* 2).

Troisième exercice. — *Rotation des épaules* (*fig.* 19). — Les deux épaules étant bien à la même hauteur, les bras pendants :

a) *Inspiration.* — On fait décrire aux épaules un arc de 0 à

Y

A 2

4 B

5

FIG. 1

FIG. 2

Fig. 17.

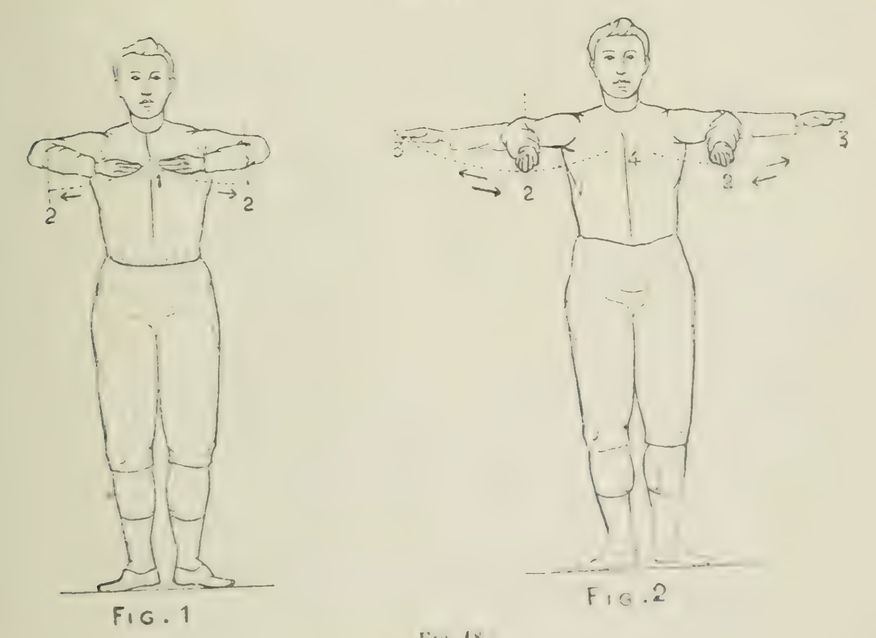


Fig. 18.

180° en avant, en les portant successivement et d'un mouvement continu dans les positions 1, 2, 3 (*fig.* 11, 1).

b) *Expiration.* — On fait continuer l'arc de cercle en arrière en portant les épaules dans les positions 3, 4, 1 (*fig.* 11, 2).

Mesures. — 1° Chaque mois, on mesure le volume d'air le plus grand que l'on puisse éliminer dans une expiration ;

2° On mesure le tour de poitrine, au-dessous des seins, à la fin d'une expiration profonde.

Des tables donnent la relation entre la taille, le poids, le tour de poitrine et le volume d'air expiré.

Résultats. — J'ai indiqué pour la première fois ces exercices, il y a six ans, aux auditeurs des cours libres que je fais à la Sorbonne ; un grand nombre de professeurs de chant et de diction les ont fait suivre à leurs élèves, et l'on a toujours obtenu un très grand développement de la cage thoracique.

Chez les enfants, les résultats sont beaucoup plus rapides.

La cavité abdominale cesse d'être ovoïde et reprend sa forme normale.

2. — Développement des muscles expirateurs.

Nous allons maintenant nous occuper du moyen d'augmenter la pression de l'air, H, qui s'échappe des poumons pendant la phonation [1].

Deux causes peuvent intervenir pour faire baisser H : la faiblesse des muscles expirateurs, la faiblesse des muscles adducteurs des cordes vocales.

1° **Muscles expirateurs.** — Les muscles expirateurs qui, pendant la phonation, ont le plus d'importance, sont les muscles de la paroi abdominale : les deux droits, les grands et les petits obliques. Chez les sujets à vie sédentaire et dont la

[1] *Travail développé pendant la phonation* (*Comptes rendus*, 27 mai 1907).

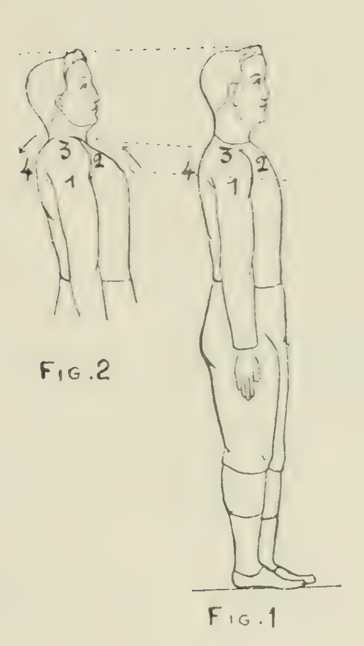


Fig. 19.

quantité de nourriture est supérieure à la ration d'entretien, ces muscles cessent de se contracter suffisamment ; il en résulte de l'entéroptose et le gros ventre des hommes de quarante ans.

Pour rendre à ces muscles leur ancienne vigueur, il suffit de les faire fonctionner de la façon suivante : on se couche sur le plan horizontal et l'on relève le tronc, les jambes et les cuisses étant immobiles, sans s'aider avec les membres antérieurs (*fig.* 20) ; cet exercice doit être répété dix fois de suite chaque jour, loin des repas.

Si ce mouvement est impossible par suite de la faiblesse des muscles de la paroi abdominale, il faut, au début, mettre sur les pieds un certain poids dont on diminue peu à peu la valeur ; l'entéroptose et le gros ventre disparaissent en quelques semaines.

2° **Muscles adducteurs des cordes vocales.** — Lorsque les cordes vocales ne se rejoignent pas sur la ligne médiane, une partie de l'air s'échappe sans entrer en vibration ; c'est ce que les artistes appellent chanter sur le souffle : il y a une fuite dans le tuyau. Il faut donc développer les muscles adducteurs des cordes vocales.

Dans les notes aiguës, le larynx remonte, tous les muscles adducteurs se contractent, la glotte devient aussi étroite et aussi courte que possible ; il faut donc faire faire au chanteur des exercices sur les notes aiguës ; de plus, comme pendant l'émission des voyelles É et I, les cordes vocales sont bien plus tendues que pendant l'émission de OU, O, A, ces exercices doivent être faits sur les voyelles É et I.

Souvent la note chevrote, c'est-à-dire que les vibrations n'ont pas partout la même amplitude. Pour faire disparaître ce défaut, on doit habituer les muscles à conserver la même contraction pendant un certain temps ; les notes doivent donc être soutenues ; de plus l'expérience apprend que le chevrotement disparaît plus vite lorsque, dans les exercices, on va des notes aiguës aux notes graves (*fig.* 21).



Fig. 20.

Conclusion. — Pour augmenter l'énergie de la voix, VH, après avoir augmenté V par des exercices respiratoires, il faut augmenter H en fortifiant les muscles de la paroi abdominale et en forçant les cordes vocales à se joindre sur la ligne médiane au moyen d'exercices sur les voyelles É et I.

3. — Résultats.

a) **Chez les enfants.** — Chaque année, un grand nombre de conscrits sont ajournés ou réformés pour faiblesse de constitution; la cause en est due souvent à un périmètre thoracique insuffisant. Le tableau suivant donne les résultats de ces dernières années :

ANNÉES	CONTINGENT ANNUEL	AJOURNEMENTS	RÉFORMES TOTALES	RÉFORMES PAR FAIBLESSE de constitution
1902.......	325.013	42.372	22.045	1.111
1903.......	324.253	62 160	25.432	1.653
1904.......	321.243	55.125	23.205	1.715
1905.......	321.929	56.635	23.784	1.784
1906.......	326.693	25.793	25.667	1.760

J'ai pensé qu'il serait utile de développer, dès le jeune âge, la cavité thoracique au moyen de trois exercices très simples que j'ai indiqués plus haut pages 23 et 25.

Les expériences ont été faites pendant six mois à l'école primaire de garçons de la rue Cambon : on a pris pour base l'âge des enfants, on a mesuré au moyen d'un spiromètre la capacité vitale, c'est-à-dire le volume d'air utilisable pour la phonation : le périmètre thoracique a été pris au niveau de l'appendice xiphoïde (bas du sternum).

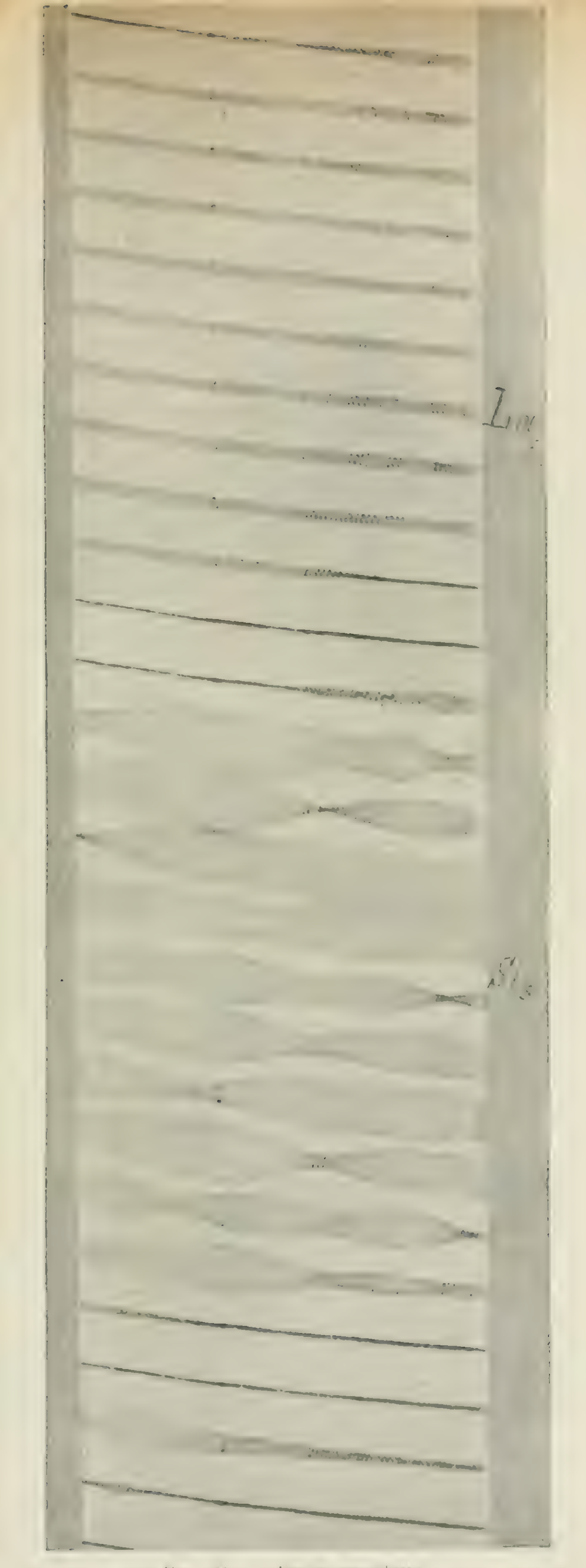


Fig. 21. — Vraie grandeur.

Passage brusque de la voix de poitrine (la_3) à la voix de tête (si_3), la note la_3 est bonne quoiqu'un peu tremblée vers la fin ; la note si_3 est très mauvaise ; elle est mal attaquée et chevrotante, mais son intensité est plus grande que celle de la_3.

Les résultats sont contenus dans le tableau suivant [1] :

AGE	TAILLE en CENTIMÈTRES		POIDS en KILOGRAMMES		TOUR DE POITRINE EN CENTIMÈTRES			CAPACITÉ VITALE EN LITRES ET CENTILITRES			NOMBRE des ÉLÈVES
	Début	6e mois	Début	6e mois	Début	1er mois	6e mois	Début	1er mois	6e mois	
6...	115	118	21	20	51	53	57	0,54	0,78	0.85	19
7...	123	125	24	23	52	55	59	0,66	0,80	0,93	14
8...	124	126	25	25	53	56	60	0,79	0.86	1,13	27
9...	130	132	28	28	55	59	63	0,89	1	1,17	29
10...	141	143	32	31	59	62	64	1,20	1,36	1,51	28
11...	138	142	32	33	58	62	66	1,05	1,31	1,70	18
12...	145	149	35	41	59	63	67	1,47	1,67	1,95	22
13...	148	151	40	40	70	74	77	1.93	2,26	2.26	16
14...	147	153	39	43	62	66	74	1,83	1,92	2,15	7

On voit immédiatement que l'accroissement du tour de poitrine a été très rapide pendant le premier mois ; c'est un fait que j'avais signalé autrefois ; il n'est pas rare, après trente séances, de trouver le périmètre thoracique augmenté de 6 à 7 centimètres.

Les mouvements d'inspiration sont généralement très bien faits, les mouvements d'expiration le sont moins bien ; on le constate soit en mesurant la capacité vitale qui n'augmente pas suffisamment, soit en mesurant la diminution du périmètre thoracique dans le passage de l'inspiration à l'expiration profonde ; chez les enfants de six à dix ans, cette variation est de 3 à 4 centimètres ; elle est de 4 à 5 centimètres chez les enfants de onze à quatorze ans.

Les exercices étaient faits chaque jour à la fin de la récréation de dix heures et de quatre heures ; il suffisait de cinq minutes chaque fois ; les enfants rentraient donc en classe cinq minutes plus tard.

Les exercices, contrôlés par le directeur, M. Meunier, ont été surveillés avec le plus grand dévouement par les pro-

[1] Le poids et la taille ont été pris avec les vêtements.

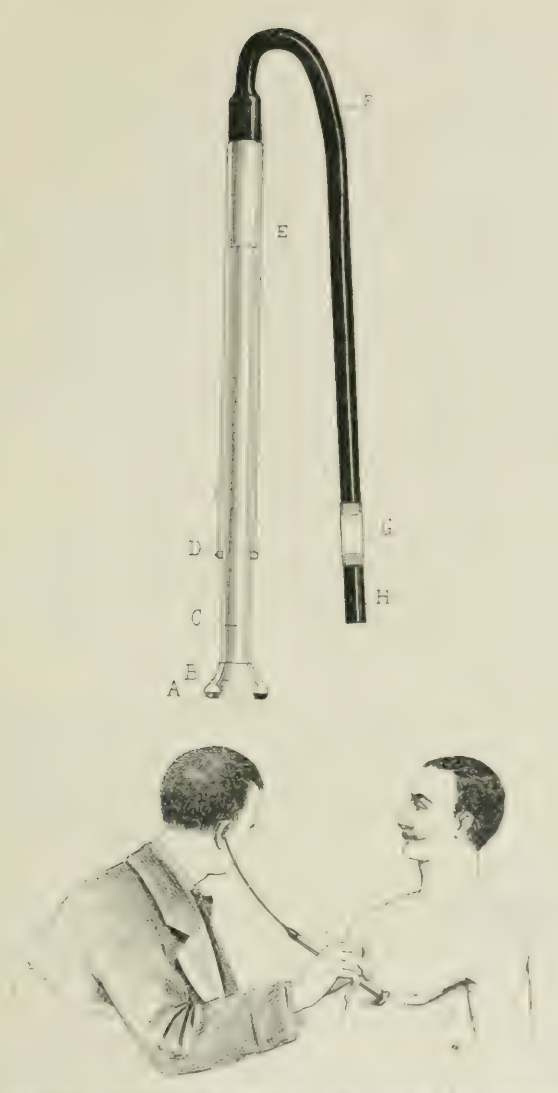


Fig. 22. — Appareil servant à déterminer les limites des organes contenus dans le thorax et l'abdomen : le tube A est placé sur la peau, à peu près au milieu de l'organe à explorer, l'autre extrémité du tube est placée dans l'oreille de l'observateur ; si on frotte doucement l'épiderme du sujet avec le pouce en allant du tube, vers la périphérie, on entend un son qui change brusquement de timbre quand on franchit les limites de l'organe.

fesseurs MM. Mersier, Dimanche, Racinet, Girardot, Clairer et Mme Meunier.

CONCLUSIONS. — 1° Les enfants apprennent en quelques minutes à faire ces exercices, et comme leur récréation se trouve augmentée de cinq minutes, ils les font avec plaisir ;

2° On ne constate plus d'attitudes vicieuses, les enfants se tiennent droits et les omoplates cessent d'être saillantes ;

3° L'état sanitaire a été supérieur, cette année, à celui des années précédentes, il y a eu beaucoup moins de manquants ;

4° Le développement est surtout très rapide chez les sujets un peu malingres (quatorze ans, voir le tableau) ;

5° Il est inutile de créer des fonctionnaires nouveaux ; les professeurs dirigeront les mouvements et les médecins des écoles contrôleront les résultats.

Si, dans toutes les écoles de France, les élèves faisaient régulièrement, chaque jour, ces exercices, le nombre des conscrits aptes au service militaire augmenterait dans une notable proportion. A une époque où la natalité diminue, ce résultat n'est pas à dédaigner.

b) **Chez les adultes.** — J'ai indiqué pour la première fois ces exercices, il y a six ans, aux auditeurs des cours que je fais à la Sorbonne : un grand nombre de professeurs de chant les ont fait suivre à leurs élèves ; toujours ils ont obtenu un développement rapide de la cage thoracique.

Ce développement se produit même chez les adultes, et je l'ai constaté chez des professeurs ayant dépassé la quarantaine.

---

§ V. — TRAVAUX A FAIRE

Établir des tables donnant, chez les artistes, suivant leur tessiture la relation entre le poids, la taille, le tour de poitrine et la capacité vitale.

CHAPITRE II

LE LARYNX

---

§ I. — Description du larynx.

1. Cartilages. — 2. Muscles.
3. Coupe histologique. — 4. Laryngoscope.

§ II. — Fonctionnement du larynx.

§ III. — Voix de tête et voix de poitrine.

CHAPITRE II

LE LARYNX

---

§ I. — DESCRIPTION DU LARYNX

Le larynx est situé à la partie supérieure de la trachée. Il est formé de cinq cartilages et de muscles qui font changer la position de ces cartilages les uns par rapport aux autres.

I. — Cartilages.

Premier cartilage (*fig*. 23, 24, 25). — Le dernier anneau de la trachée est surmonté d'un autre anneau ayant la forme d'une bague dont le chaton très gros est en arrière ; c'est le cartilage *cricoïde*.

Deuxième cartilage (*fig*. 24 et 25). — Au-dessus de cette bague se trouve un autre cartilage ayant la forme d'un livre ouvert, le dos du livre en avant : c'est le cartilage *thyroïde;* le dos du livre s'appelle *la pomme d'Adam*.

Troisième et quatrième cartilages (*fig*. 25). — A cheval sur le chaton de la bague se trouvent deux petites pyramides triangulaires, les cartilages *aryténoïdes;* ils sont essentiellement mobiles et articulés avec le cricoïde comme un cavalier avec son cheval, c'est-à-dire qu'ils peuvent aller en avant ou en arrière, se tourner à droite ou à gauche.

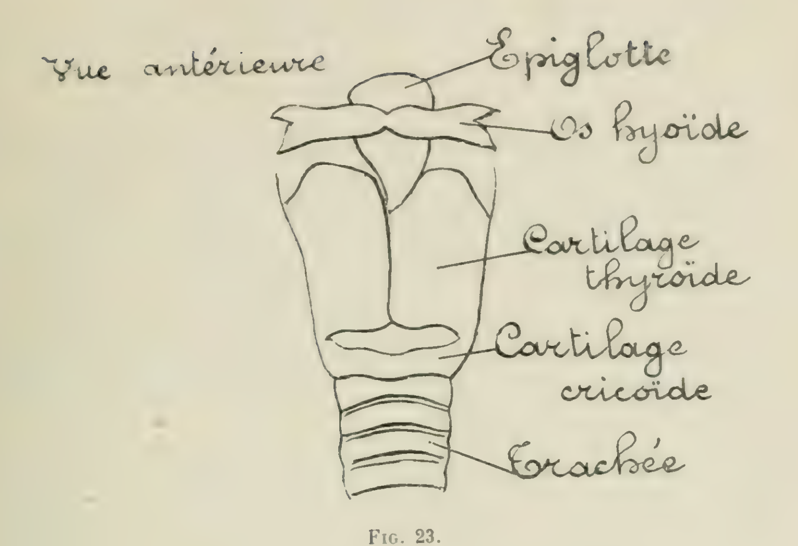


Fig. 23.

Vue latérale
Epiglotte
2
Cartilage thyroïde
Cartilage cricoïde
Muscle crico-thyroïdien

Fig. 24.

Cinquième cartilage (*fig.* 23). — L'*épiglotte* sert de couvercle au tuyau par lequel l'air s'échappe.

2. — **Muscles.**

Les muscles font mouvoir les cartilages les uns par rapport aux autres ; ils vont par paires, c'est-à-dire qu'il y en a un à droite et un autre pareil à gauche, l'ary-aryténoïdien fait seul exception ; ils portent le nom des deux cartilages sur lesquels ils s'insèrent.

Premier muscle (*fig.* 24). — Le *crico-thyroïdien* va du cricoïde au thyroïde et rapproche ces deux cartilages l'un de l'autre (voix de tête, page 45).

Deuxième muscle (*fig.* 25). — Le *thyro-aryténoïdien latéral* va de l'aryténoïde au cricoïde ; il rapproche les deux aryténoïdes et rétrécit l'espace que l'on appelle la glotte et qui est compris entre les cordes vocales.

Troisième muscle (*fig.* 25). — Le *thyro-aryténoïdien* va du thyroïde à l'aryténoïde ; sur son bord libre il devient tendineux et forme une bande blanchâtre que l'on appelle la bande vocale ou vulgairement la *corde vocale*.

Quatrième muscle (*fig.* 26).— Le *muscle ary-aryténoïdien* va d'un cartilage aryténoïde à l'autre ; il les rapproche. Ce muscle est formé de trois couches de fibres qui constituent pour ainsi dire trois muscles : l'un horizontal, l'autre allant du bas de l'aryténoïde gauche au sommet de l'aryténoïde droit, le dernier qui va de l'aryténoïde gauche au sommet de l'aryténoïde droit ; ce muscle rapproche les deux aryténoïdes et rétrécit la glotte.

Cinquième muscle (*fig.* 26). — Le *crico-aryténoïdien postérieur*, comme le cricoïde, est fixe, il fait tourner l'aryténoïde en dehors, ce qui écarte les deux aryténoïdes l'un de l'autre : il élargit la glotte ; c'est le muscle qui se contracte quand on fait une inspiration profonde.

Vue latérale avec coupe du Thyroïde

Cartilage thyroïde (en coupe)

Cordes vocales (Muscles thyro-aryténoïdiens)

3

Cartilages aryténoïdiens

Cartilage cricoïde

Muscle crico aryténoïdien latéral

Trachée

Fig. 25.

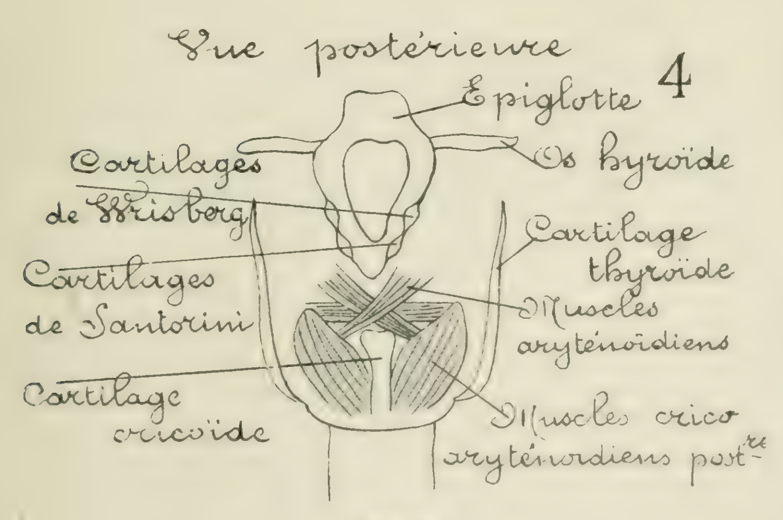


Fig. 26

3. — Coupe histologique (*fig.* 7).

Si on fait une coupe verticale très mince du larynx en allant de droite à gauche, et si on l'examine à un fort grossissement, on voit en bas des fibres musculaires en coupe, c'est le muscle thyro-aryténoïdien qui constitue une des bandes vocales avec son rebord tendineux en dehors : au-dessus se trouve un gros repli de la muqueuse, sans fibres musculaires; on l'appelle improprement la corde vocale supérieure pour ne pas le confondre avec le muscle thyro-aryténoïdien que l'on appelle alors la corde vocale inférieure : entre ces deux cordes vocales, inférieure et supérieure, se trouve une cavité, que l'on appelle le ventricule de Morgagni.

Sur la figure on n'a représenté que les cordes vocales d'un seul côté, celles de gauche, inférieure et supérieure.

4.— Laryngoscope (*fig.* 28).

Pour voir les cordes vocales, il faut se servir d'un petit miroir large comme une pièce de vingt sous ; on l'éclaire fortement et on le met dans la bouche du sujet en refoulant la luette et en tenant la langue du sujet avec un linge.

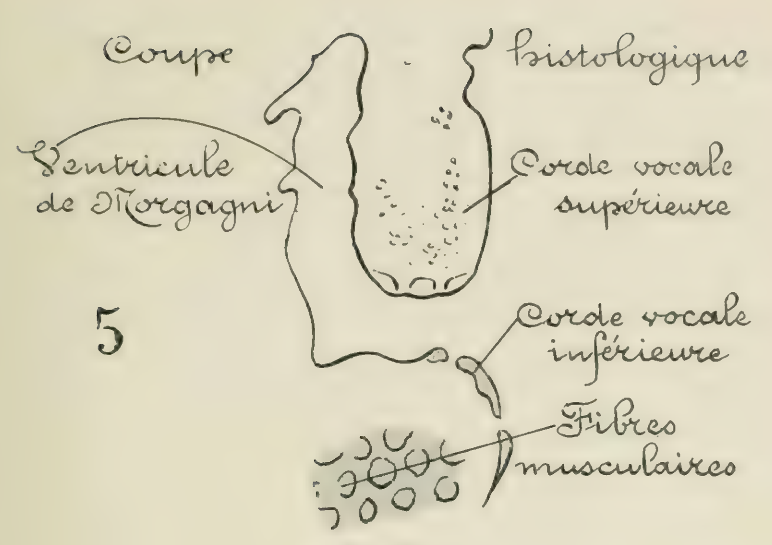

Coupe histologique
Ventricule de Morgagni
Corde vocale supérieure
5
Corde vocale inférieure
Fibres musculaires

Fig. 27.

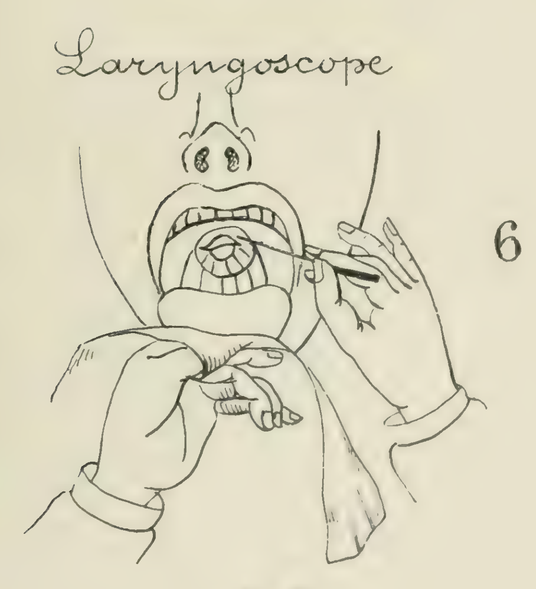

Laryngoscope
6

Fig. 28.

On voit dans le miroir l'image renversée des cordes vocales : si le sujet émet une note aiguë sur É, ses cordes vocales se rapprochent et l'on a la figure 29.

Si au contraire on fait respirer profondément, les cordes vocales s'écartent et l'on a la figure 30.

Vue laryngoscopique
des cordes vocales en adduction

Epiglotte (E)

Cordes vocales

7

Région
interaryténoïdienne

Fig. 29.

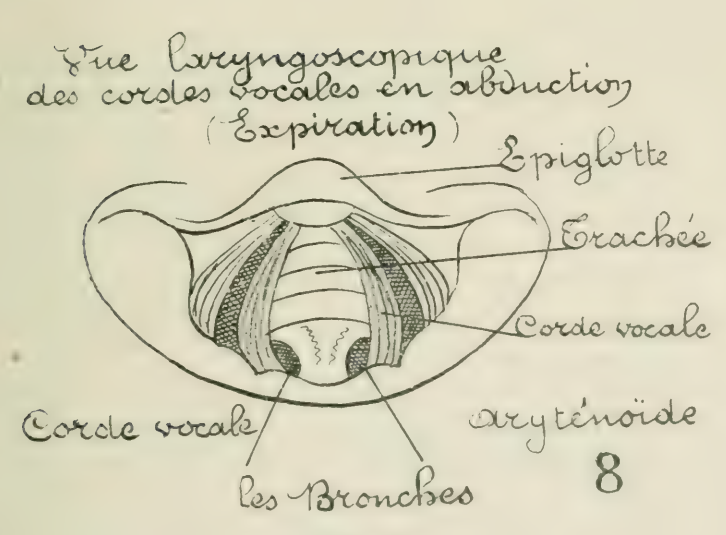


Fig. 30.

§ II. — FONCTIONNEMENT DU LARYNX

Le courant d'air qui s'échappe des poumons pendant l'expiration est continu, c'est-à-dire inaudible ; il s'agit de le rendre discontinu ou sonore : c'est le rôle du larynx. Cet organe situé à la partie supérieure de la trachée se compose essentiellement de deux bandes musculo-tendineuses allant d'avant en arrière dans un plan horizontal ; ces deux bandes se rejoignent en avant, comme le font les deux branches d'une paire de ciseaux au niveau de la vis d'articulation : elles peuvent donc soit se fermer comme des ciseaux et empêcher la sortie de l'air, soit s'écarter de manière à permettre la sortie de l'air en formant ou un V ouvert en arrière ou une fente à bords parallèles. Cet espace en V ou en fente est la glotte. A chaque rapprochement, suivi d'un écartement, correspond un arrêt et une sortie de l'air, c'est-à-dire une vibration double ; s'il y en a, par exemple, 435 en une seconde, la note émise est le la_3 normal. Les bandes vocales sont généralement nommées cordes vocales.

Les bandes vocales longues correspondent aux voix graves, (tessitures de basse et de contralto), les bandes vocales courtes aux voix aiguës (tessitures de ténor et de soprano). Chez un même sujet les bandes vocales sont constituées par un muscle (thyro-aryténoïdien) ; elles peuvent donc, comme tous les muscles, se contracter plus ou moins, c'est-à-dire être plus ou moins grosses (registres épais et mince) et plus ou moins longues (voir voix chantée).

Les intermittences dans la sortie de l'air des poumons font entrer cet air en vibration ; c'est donc l'air qui vibre ; et la voix est une vibration aéro-laryngienne : les bandes vocales par elles-mêmes, dans les conditions normales de la vie, ne font que modifier le son fondamental aérien en y introduisant des sons accessoires que l'on appelle sons harmoniques, absolument comme dans plusieurs tuyaux sonores donnant la même note le son est modifié par la nature des parois et des anches (voir timbre).

A chaque note, le larynx tout entier, épiglotte comprise, change de forme ; les figures que l'on trouve dans les ouvrages classiques ne donnent qu'une idée très vague de ce qui se passe réellement dans la pratique.

Les bandes vocales n'agissent pas du tout comme des anches membraneuses en caoutchouc, et il n'y a aucune ressemblance entre les sons rendus par des anches en caoutchouc et les sons rendus par des larynx isolés.

Ces vibrations se produisent-elles au niveau de la glotte, c'est-à-dire au moment où l'air passe entre les cordes vocales, ou les ventricules de Morgagni ont-ils, comme le suppose Savart, une influence prépondérante ? C'est une question qui, pour le moment, est impossible à trancher.

On comprend que la voix peut disparaître subitement sans lésions apparentes des bandes vocales, car tous les muscles adducteurs et toutes les articulations des cartilages laryngiens sont sujets à des lésions rhumatismales qui peuvent se produire en un temps très court.

Le larynx n'est pas fixe ; il peut se déplacer verticalement (rôle des muscles sus et sous-hyoïdiens).

Dans l'émission des notes graves, le larynx s'abaisse, la glotte est plus longue et plus large, les vibrations aéro-laryngiennes se trouvent renforcées par l'air sous-glottique, c'est ce que l'on appelle la voix de poitrine. Si le diaphragme est très contracté et que le sujet sente le refoulement des viscères abdominaux, il dit qu'il a l'appui en poitrine.

Dans les notes aiguës, le larynx remonte, tous les muscles adducteurs se contractent, la glotte devient aussi étroite et aussi courte que possible par la contraction des muscles crico-thyroïdiens ; c'est ce que l'on appelle la voix de tête.

Mais, en fait, il n'y a qu'une sorte de voix : la voix aéro-laryngienne produite au niveau de la glotte, et les expressions *voix de tête* et *voix de poitrine* ne sont que des mots (voir *Tessitures*) servant à distinguer le registre aigu du registre grave.

§ III. — VOIX DE TÊTE ET VOIX DE POITRINE

Un sujet déterminé peut émettre un certain nombre de notes qui constituent la tessiture de sa voix ; aux notes graves de cette tessiture correspond ce que l'on appelle le registre de poitrine, aux notes aiguës, le registre de tête. Entre ces deux registres, il existe un passage plus ou moins marqué, c'est le mécanisme de ce passage que nous allons étudier.

1° **Fait anatomique.** — Tous les muscles intrinsèques du larynx sont innervés par le récurrent; les deux crico-thyroïdiens sont seuls innervés par le laryngé externe ; ils ont donc une indépendance spéciale ; ces deux muscles font basculer le cartilage thyroïde sur le cricoïde en rapprochant ces deux cartilages en avant; ce sont donc des tenseurs des cordes vocales (*fig*. 31).

2° **Fait expérimental.** — Si, au moment du passage de la voix de poitrine à la voix de tête, il y a une contraction brusque du crico-thyroïdien, l'espace compris en avant entre ces deux cartilages doit diminuer de grandeur, et l'on doit pouvoir constater cette diminution au moyen du cardiographe de Marey. Cet instrument est placé de chaque côté du cou dans l'espace limité par le thyroïde, le cricoïde et le muscle crico-thyroïdien ; les deux tambours communiquent ensemble et avec un tambour inscripteur au moyen d'un tube en Y (*fig*. 31).

Or, on constate toujours deux phénomènes différents qui sont absolument nets, que l'on fasse l'expérience sur un larynx d'homme ou sur un larynx de femme.

Premier cas. — Il y a une différence très marquée entre les deux registres; alors il se produit une contraction brusque des deux muscles crico-thyroïdiens; c'est le tracé I (*fig*. 32) : la courbe a deux plateaux, le plateau inférieur correspondant au registre de poitrine, le plateau supérieur, au registre de tête.

Deuxième cas. — Le passage de la voix de poitrine à la voix de tête est moins marqué, alors la courbe monte peu à peu,

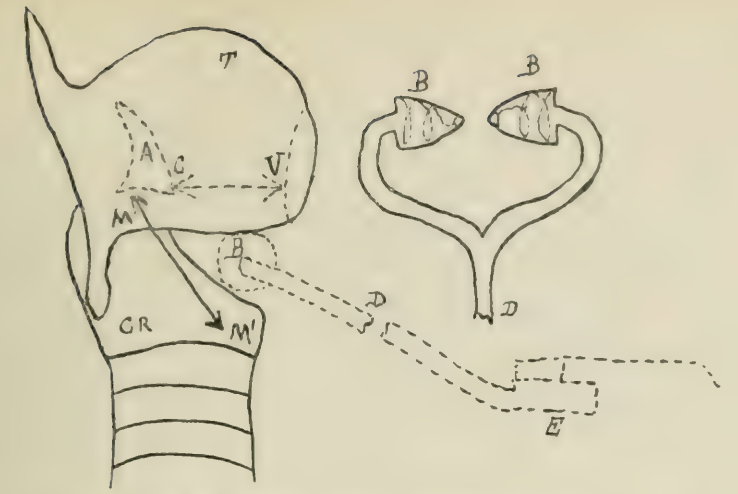


Fig. 31. — Vue latérale schématique du larynx.

A, cartilage arytenoïde ; — B, B, tambours de Marey, communiquant par le tube D avec un tambour à levier E ; — CV, corde vocale ; — MM', muscle allant du cricoïde CR au thyroïde T (muscle crico-thyroïdien).

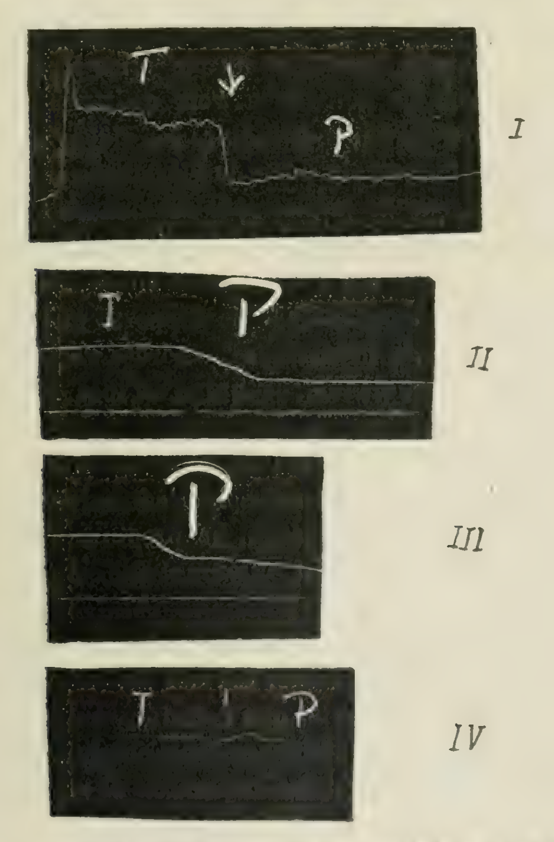


Fig. 32. — Différents tracés montrant le passage de la voix de poitrine P à la voix de tête T. II et III, larynx d'hommes ; — I et IV, larynx de femmes.

et chez certains artistes, elle est presque continue sans raccordement; les tracés II, III et IV montrent bien les différences intermédiaires. Le crico-thyroïdien peut donc ou se contracter brusquement, ou se contracter peu à peu de manière à produire la tension progressive des cordes vocales. Si, en même temps, on photographie les vibrations de la voix, non seulement on connaît les notes qui appartiennent au registre de poitrine et au registre de tête, mais encore on détermine les notes qui manquent, c'est-à-dire les trous de la voix : le sujet qui a fourni le tracé I a une voix tremblée, d'inégale intensité et deux notes manquent, au moment du passage du plateau inférieur au plateau supérieur. Au contraire, le sujet qui a fourni le tracé IV a une voix régulière et il ne manque pas une seule note (*fig.* 21, page 29).

Les professeurs ont donc bien observé ce phénomène de passage dû à la contraction du muscle crico-thyroïdien, mais les noms de voix de poitrine et voix de tête semblent assez mal choisis, car ils peuvent induire les élèves en erreur : il n'y a en effet qu'une voix due à la vibration aéro-laryngienne produite au niveau de la glotte; il conviendrait mieux de se servir du terme registre grave et registre aigu; en effet, les expressions, registre épais et registre mince, dont on se sert quelquefois ont l'inconvénient de supposer que l'on connaît bien la relation entre l'épaisseur des cordes vocales et la note fondamentale laryngienne, ce qui n'est pas exact, pour le moment du moins.

Cette théorie de la formation des deux registres a été souvent combattue ; la contraction du muscle crico-thyroïdien n'est peut-être pas le seul phénomène qui se produise au moment du passage, mais elle se produit toujours et elle est facile à mettre en évidence.

Conclusion. — Quand le passage entre les deux registres, grave et aigu, est très marqué, le tracé des vibrations montre que la voix est tremblée et que certaines notes font défaut ; les professeurs de chant ont donc raison d'employer les méthodes qu'ils croient utiles pour faire disparaître ce passage.

CHAPITRE III

LES RÉSONNATEURS SUPRA-LARYNGIENS

---

§ I. — **Le pharynx.**

§ II. — **Le nez.**

§ III. — **La bouche.**

§ IV. — **Travaux à faire.**

CHAPITRE III

LES RÉSONNATEURS SUPRA-LARYNGIENS

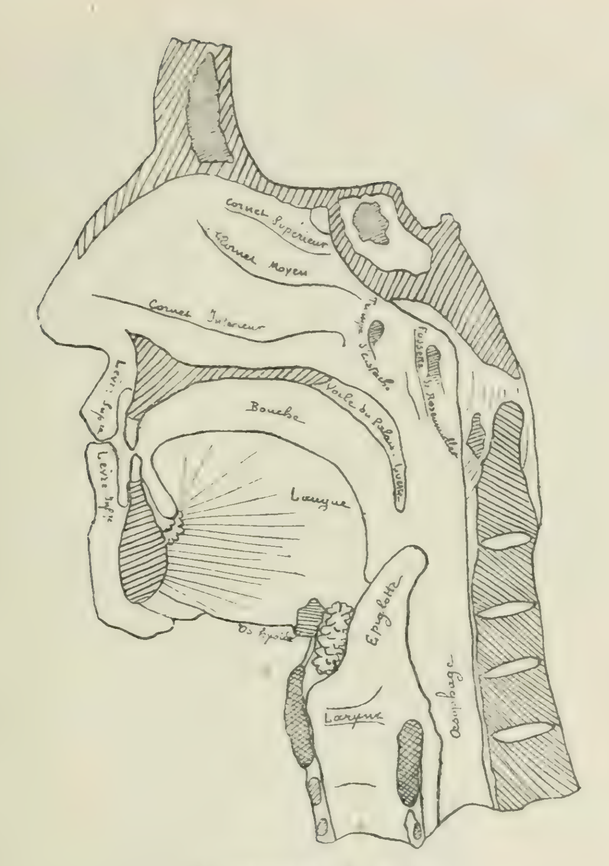
La vibration aéro-laryngienne qui se produit au niveau de la glotte est ou renforcée ou transformée par les cavités supra-laryngiennes, le pharynx, le nez, la bouche.

§ I. — LE PHARYNX

Le pharynx est situé immédiatement au-dessus du larynx : c'est un carrefour où aboutissent quatre conduits, deux en bas, deux en haut : en bas et en arrière, l'œsophage aplati (aliments) ; en bas et en avant, le larynx (air) ; en haut, nous trouvons deux autres conduits, la bouche en avant, le nez au-dessus de la bouche dont il est séparé par le palais fixe et le voile du palais mobile ; le voile du palais pouvant à volonté faire passer l'air qui vient des poumons, soit par le nez, soit par la bouche, soit par les deux en même temps.

Le pharynx change de forme continuellement pendant la phonation : non seulement il diminue ou augmente de largeur (piliers du voile du palais), mais encore il diminue ou augmente de hauteur.

En effet, le larynx est essentiellement mobile ; il monte ou il descend suivant la note émise ; ces mouvements sont produits par un grand nombre de muscles : les uns vont du larynx à l'os hyoïde (*fig.* 23, p. 37) (le seul os qui ne s'articule pas avec un autre os) ; les autres, de l'os hyoïde à la langue, au maxillaire inférieur et à la base du crâne, de manière que tout mouvement du maxillaire, de la langue ou du pharynx a sa répercussion sur la position du larynx et, par conséquent, sur la note laryngienne. On prévoit donc dès maintenant l'importance énorme qu'aura sur la pureté du son laryngien la position de la langue et du maxillaire inférieur.



Pharynx, nez et bouche.

Fig. 33. — Coupe antéro-postérieure passant par le milieu du nez et montrant l'*anatomie normale* du pharynx (orifice de la trompe d'Eustache) et des fosses nasales (cornets supérieur, moyen et inférieur); en arrière de l'orifice de la trompe d'Eustache se trouve la fossette de Rosenmüller; l'air venant du larynx peut sortir par la bouche ou, par le nez, derrière la luette.

§ II. — LE NEZ

Le nez est séparé en deux par une cloison théoriquement rectiligne et plane; les deux parois externes sont très anfractueuses (cornets supérieurs, moyens et inférieurs). Le nez communique par des orifices très étroits avec six cavités : quatre très petites, les deux sinus frontaux entre les deux yeux et les deux sinus ethmoïdaux au-dessous; deux plus grandes, les deux sinus maxillaires ; un de chaque côté du nez. Ces six cavités à état normal ne semblent être d'aucune utilité pour la phonation.

§ III. — LA BOUCHE

La bouche est une cavité que traverse l'air vibrant venant du larynx avant de s'échapper à l'extérieur. Cette cavité, dont la forme est essentiellement variable, est limitée : en haut, par le palais fixe et le voile du palais mobile ; en bas, par la langue mobile et le plancher de la bouche ; sur les côtés, par les dents et les joues ; en arrière, se trouve le pharynx, en avant se trouve l'orifice de sortie dont les lèvres rendent la forme tout à fait variable.

Le meilleur moyen, pour étudier cette cavité sur le vivant, est d'en faire le moulage lorsqu'elle a pris une forme déterminée correspondant à une voyelle, O par exemple.

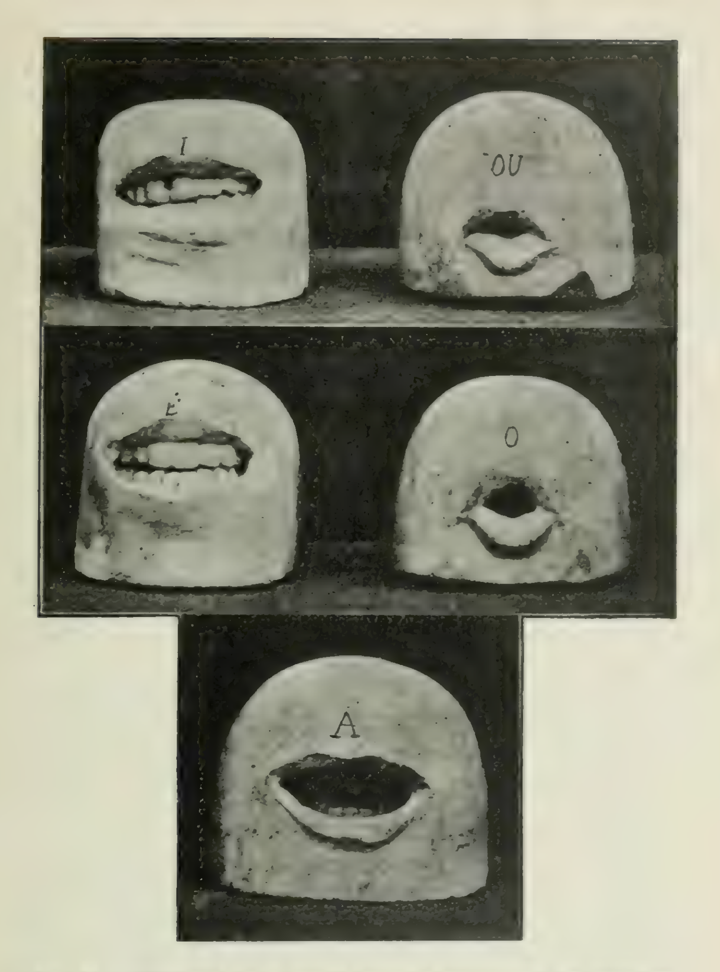


Fig. 34. — Moulages de la cavité buccale prononçant les voyelles.

Notes rendues par la cavité buccale :

	OU	O	A	E	I
1er moulage..........	*ré*$_3$	*fa*$_3$	*sol*$_3$	*si*$_3$	*ré*$_4$
2e moulage...........	*si*$_2$	*sol*$_3$	*la*$_3$	*ut*$_4$	*si*$_3$

On emploie, à cet effet, une matière dont se servent les dentistes, et qui s'appelle du stents, c'est une substance très dure à la température ordinaire et molle comme du beurre vers 35° ; elle est encore plus malléable quand elle a déjà servi un certain nombre de fois ; elle fond alors à une température plus basse.

Pour mouler la cavité buccale prononçant O, par exemple, on emplit la bouche de stents fondu, et l'on donne à la bouche la forme qu'elle doit avoir en prononçant cette voyelle ; alors on écarte un peu la joue, on fait passer un courant d'eau froide, le stents durcit immédiatement et on le laisse tomber dans un vase plein d'eau (*fig.* 34 *bis*).

Il n'y a donc plus, pour avoir la forme de la cavité buccale, qu'à faire un moulage en mettant du plâtre autour du stents.

On prend d'abord sur un lit de plâtre la forme de la partie inférieure du moule : lorsque le plâtre a une consistance suffisante, on enlève le stents, et sur un deuxième lit de plâtre on prend la forme de la face supérieure du stents; le stents étant enlevé, on réunit les deux moulages en plâtre et l'on a le moulage de la cavité buccale prononçant une voyelle (*fig.* 34).

On peut laisser indépendantes les faces supérieure et inférieure du moulage, de manière à faire voir à l'élève la position exacte que doit prendre sa langue au moment de l'émission de la voyelle (*fig.* 35).



Fig. 34 *bis*. — Moulage en stents de l'intérieur de la bouche.



Fig. 35. — Moulage de la bouche prononçant la voyelle LU, les parties supérieure et inférieure du moulage peuvent se séparer, ce qui permet de voir la position de la langue.

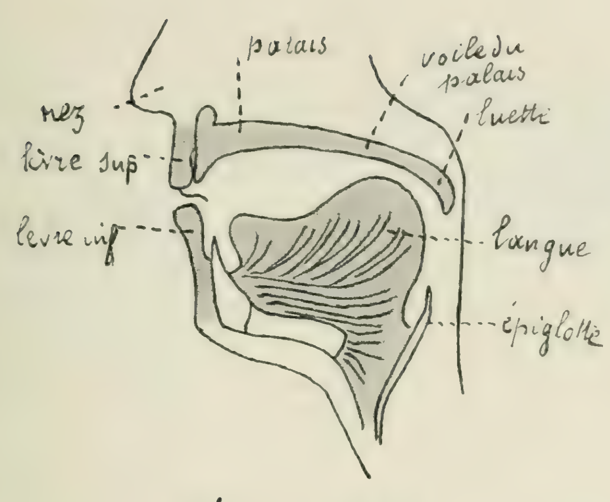
Les figures suivantes (36, 37, 38, 39) montrent en coupe les formes très différentes que peut prendre l'intérieur de la cavité buccale sous l'influence des variations de position de la langue et du voile du palais : pour les voyelles OU, O, A, on a mis au-dessous de chaque dessin la forme que prennent les lèvres pendant l'émission du son.

Non seulement la masse d'air intrabuccale varie de volume, mais encore elle varie de forme ; l'orifice de sortie change pour chaque note et chaque voyelle : toutes ces variations renforcent ou transforment la vibration aérienne qui s'est formée dans le larynx.

Il n'existe pas dans nos laboratoires de physique de pavillon ou de résonnateur qui puisse être comparé à la bouche.

Aussi n'y a-t-il pas de vibration plus complexe que celle qui, s'étant produite dans le larynx, a été ensuite renforcée ou transformée par la cavité buccale pour produire le langage articulé.

C'est la formation des éléments de ce langage, c'est-à-dire les voyelles et les consonnes, que nous avons à étudier maintenant ; mais il convient auparavant de rappeler en quelques mots certains termes d'acoustique dont nous aurons à nous servir ; c'est ce que nous allons faire dans le quatrième chapitre.



Coupe OU



Face OU

Fig. 36.

§ IV. — TRAVAUX A FAIRE

Faire une méthode de chant, en montrant par des coupes de la cavité buccale (*fig.* 36 *et* 37) *la position que doit prendre la langue à chaque note et à chaque voyelle : au-dessous on mettrait la position correspondante des lèvres.*

On pourrait faire des cinématographies : pour les coupes, avec les rayons X, de manière à voir la langue : pour les lèvres, avec la lumière ordinaire, de manière à voir l'orifice buccal.

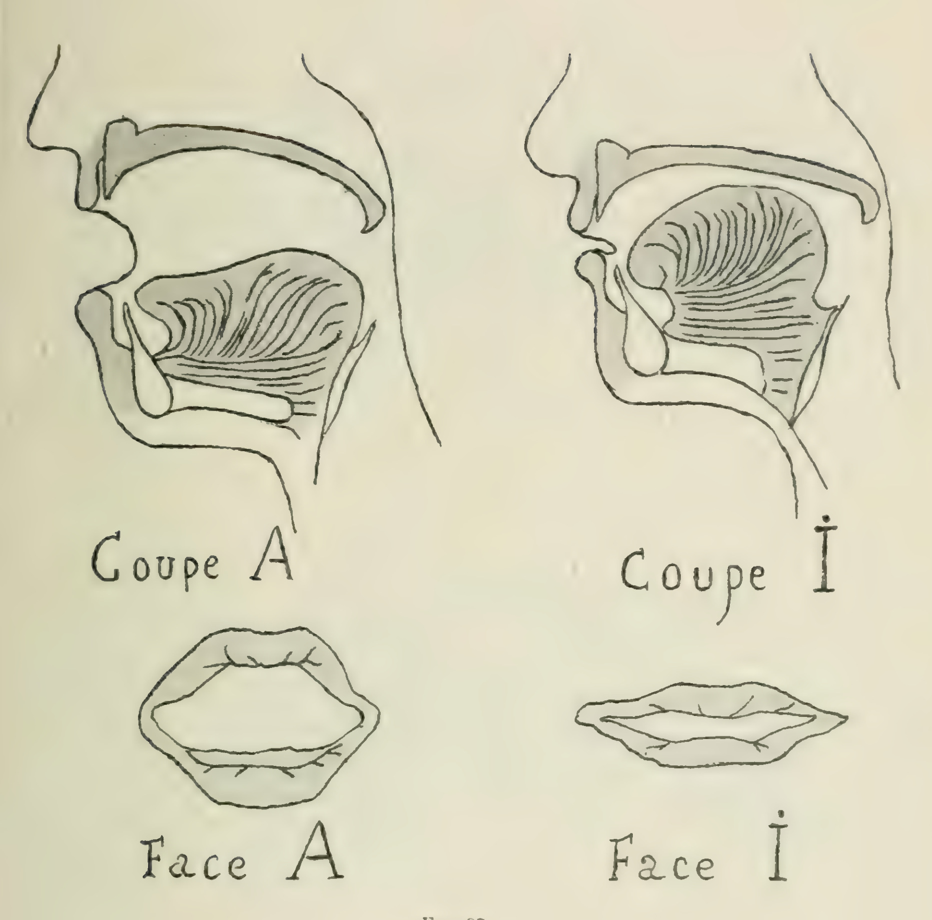


Fig. 37.

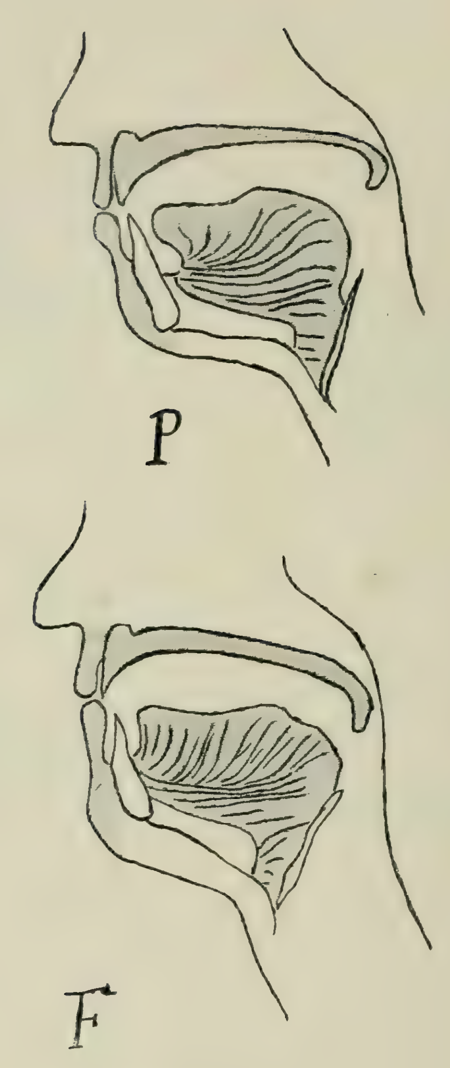


Fig. 38.

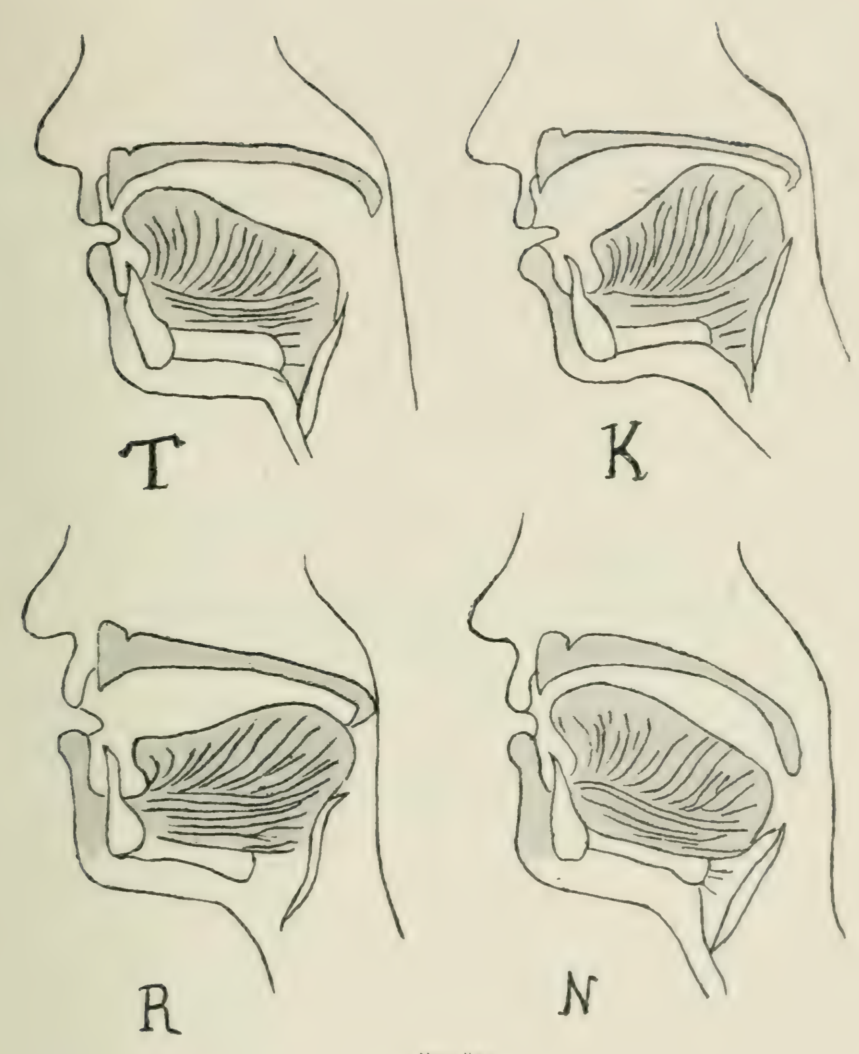


Fig. 39.

CHAPITRE IV

VIBRATIONS ACOUSTIQUES

---

§ I. — **Division.**

1. **Bruits.** — 2. **Musique.** — 3. **Parole.**

§ II. — **Qualités du son.**

1. **Durée.** — 2. **Intensité.** — 3. **Timbre.**
4. **Hauteur.** — 5. **Tableau des sons entendus, musicaux et non musicaux.**

§ III. — **Propagation du son.**

§ IV. — **Travaux à faire.**

CHAPITRE IV

VIBRATIONS ACOUSTIQUES

§ I. — DIVISION

L'oreille peut entendre trois sortes de vibrations : les *bruits*, les *vibrations musicales* et la *parole*.

Si l'on inscrit le *bruit* provenant de la chute d'une canne, d'une planche ou d'un objet quelconque, on obtient une ligne ondulée, continue, tout à fait irrégulière ; l'amplitude des oscillations, d'abord très grande, va peu à peu en diminuant : *le bruit est donc produit par une vibration continue, irrégulière, non périodique.*

Dans la seconde catégorie, nous rangeons les *vibrations musicales*, dont le type est donné par le diapason : une plume placée à l'extrémité d'un diapason en vibration inscrit sur une feuille de papier mobile une courbe tout à fait régulière qu'on appelle une sinusoïde. Si plusieurs vibrations sinusoïdales se produisent ensemble, elles se superposent pour donner naissance à des courbes de plus en plus compliquées ; leur superposition produira sur l'oreille une impression plus ou moins agréable. C'est ce qui donne lieu au « timbre » des divers instruments de musique ; c'est ce qui fait que le *la* donné par une flûte ne ressemble pas au *la* donné par un violon : *les vibrations musicales sont donc continues, régulières, périodiques.*

Dans la troisième catégorie se trouvent les *vibrations de la voix :* ce sont les seules que nous étudierons.

§ II. — QUALITÉS DU SON

1° **Durée.** — Un son n'est pas instantané, il continue à se produire pendant un temps plus ou moins long : si on prononce successivement aussi rapidement que possible les trois voyelles I, É, A, on trouve que I dure $\frac{4}{25}$ de seconde, É $\frac{1}{25}$, A $\frac{2}{25}$.



Fig. 40. — Bruits : petits accès de toux.

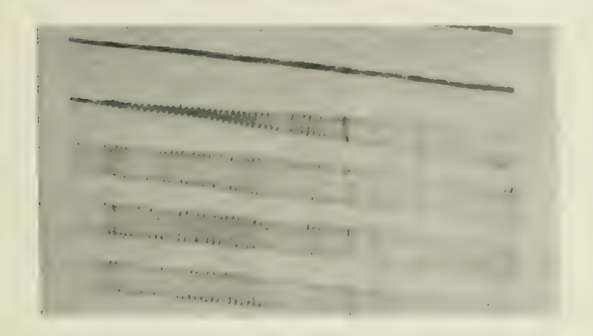


Fig. 41. — Musique : diapason.

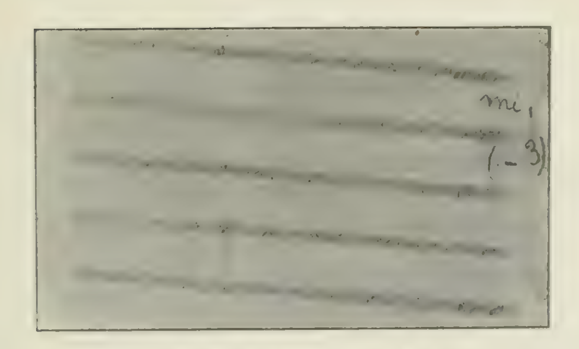


Fig. 42. — Parole : voyelle A.

2° **Intensité.** — L'intensité d'un son dépend de beaucoup de circonstances, parmi lesquelles on peut citer les suivantes :

a) *La surface du corps sonore.* — Le son d'une cloche porte plus loin que le son d'une corde donnant la même note ; c'est pour cela que l'on renforce le son de la corde par une caisse de résonance (violon) ;

b) *L'amplitude des vibrations.* — L'intensité est proportionnelle au carré de l'amplitude ;

c) *Le milieu ambiant.* — Les sons ne se progagent pas dans le vide, ils se propagent mieux dans l'air comprimé, dans les liquides et dans les solides ;

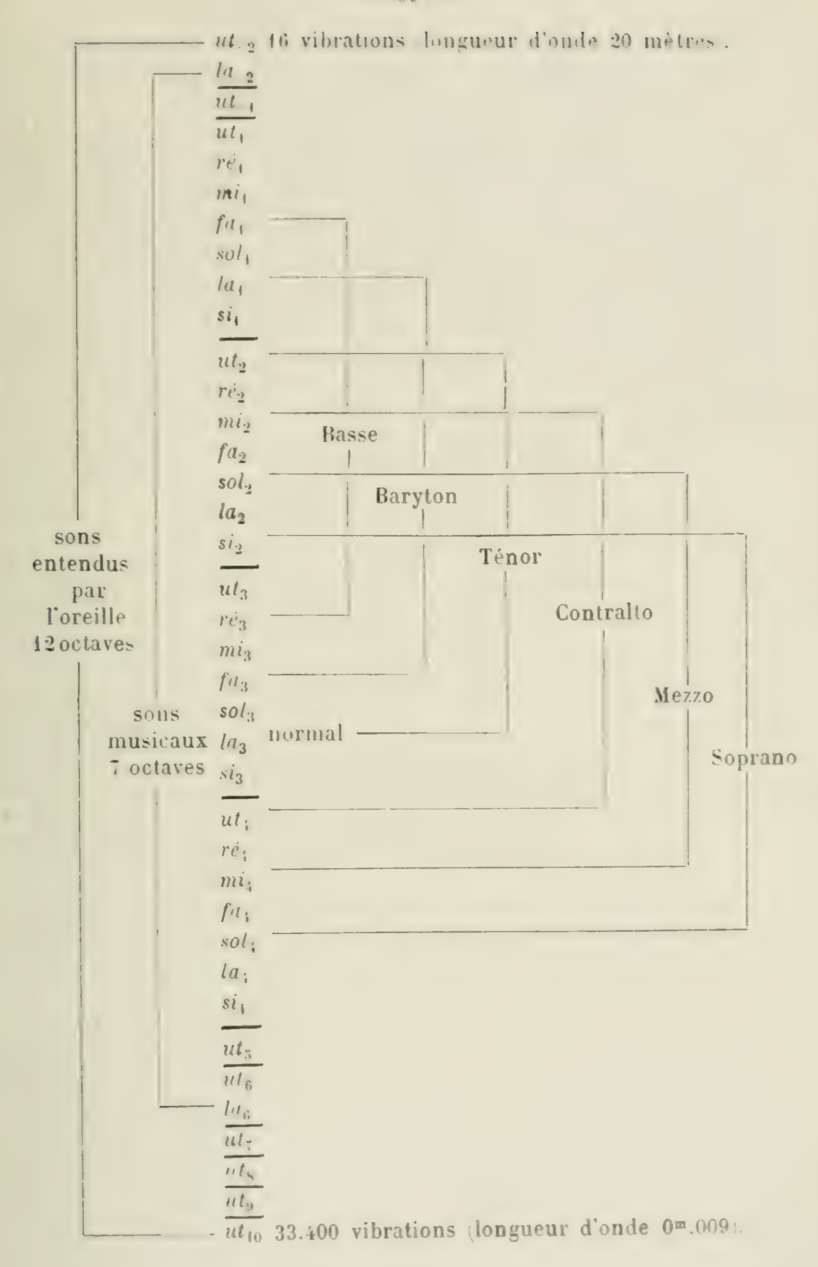
d) *La distance.* — On admet que l'intensité du son perçu est en raison inverse du carré de la distance à laquelle on se trouve du corps sonore.

3° **Timbre.** — Il dépend de sons secondaires qui se produisent en même temps que le son fondamental. On les appelle sons harmoniques ; ils sont produits par 2, 3, 4, 5, ..., N fois plus de vibrations que le son fondamental ; cette qualité permet de distinguer entre eux les sons des divers instruments. Pour analyser un son, on peut se servir des résonnateurs.

Un résonnateur est un appareil limitant une masse d'air de volume et de forme déterminés ; il entre en vibration lorsque le seul son qu'il peut rendre se produit dans le voisinage (ce n'est pas rigoureusement exact).

4° **Hauteur.** — Elle dépend du nombre de vibrations qui sont produites en une seconde. Pour classer les sons d'après leur hauteur, il fallait prendre un point de départ : on est convenu, en France, de rapporter les vibrations au diapason donnant 435 vibrations doubles à la seconde, on l'appelle le *la* normal ou la_3.

Tous les sons se divisent en audibles et inaudibles ; les audibles se divisent en non musicaux et musicaux. Une gamme est une série de sept sons qui se distinguent entre eux par le rapport du nombre de leurs vibrations.


ut₋₂ 16 vibrations (longueur d'onde 20 mètres).
la₋₂
ut₋₁
ut₁
ré₁
mi₁
fa₁
sol₁
la₁
si₁
ut₂
ré₂
mi₂
fa₂
sol₂
la₂
si₂
ut₃
ré₃
mi₃
fa₃
sol₃
la₃
si₃
ut₄
ré₄
mi₄
fa₄
sol₄
la₄
si₄
ut₅
ut₆
la₆
ut₇
ut₈
ut₉
ut₁₀ 33.400 vibrations (longueur d'onde 0m.009).
sons entendus par l'oreille 12 octaves
sons musicaux 7 octaves
Basse
Baryton
Ténor
Contralto
Mezzo
Soprano
normal

En partant de la gamme 3, qui contient le la_3 normal, chaque gamme a son numéro de classement en dessus ou en dessous de 3 ; au-dessous de 1, les indices sont négatifs.

La limite des sons perceptibles va de 16 (ut_{-2}) à 33.400 vibrations (ut_{10}), c'est-à-dire 12 octaves ; celle des sons musicaux va de 27 (la_{-2}) à 3.400 vibrations (la_6), c'est-à-dire 7 octaves.

On mesure la hauteur du son, c'est-à-dire le nombre de vibrations à la seconde, soit directement (méthode graphique), soit par l'unisson avec un corps sonore dont on connaît le nombre de vibrations (sirène).

Remarque. — Certains auteurs introduisent l'octave 0 (zéro), et alors on a ut_{-1}, ut_0, ut_1, ut_2, ... au lieu de ut_{-2}, ut_{-1}, ut_1, ut_2, ...

§ III. — PROPAGATION DU SON

Le son se propage par des vibrations de l'air et non par des transports d'air (tube de Laurens, liège, fumée). Il se réfléchit (écho, acoustique des salles) et se réfracte comme la lumière.

La vitesse du son dans l'air est 333 mètres par seconde environ.

La vitesse d'un vent qui renverserait les édifices les plus solides serait de 50 mètres environ à la seconde.

La formule $L = \frac{V}{N}$ donne la relation entre la vitesse du son V sa hauteur N et la longueur d'onde L : la longueur d'onde des sons perçus les plus graves est 20 mètres (ut_{-2}), celle des sons entendus les plus aigus (ut_{10}) 9 millimètres.

La formule $L = \frac{V}{N}$ permet de déterminer la hauteur des sons inaudibles ; pour cela, on met de la poussière de liège dans un tube ouvert aux deux bouts et l'on produit le son inaudible à une extrémité, le liège se met par petits tas d'égale longueur ; la longueur d'un tas donne L ; V est le même pour tous les sons, 333 mètres (utilité pour les orchestres) ; on a $N = \frac{V}{L}$.

§ IV. — TRAVAUX A FAIRE

On sait que, dans l'air extérieur, on entend beaucoup mieux les sons lorsque le vent porte, c'est-à-dire lorsque la direction du son et la direction du vent sont les mêmes : or la vitesse maxima du vent est environ 30 mètres par seconde : celle du son 333 mètres par seconde : l'influence de la vitesse du vent semblerait donc devoir être très faible.

Comme il n'en est pas ainsi, il faudrait chercher la cause de cette influence : peut-être la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'atmosphère a-t-elle aussi une certaine importance? De plus, dans une salle de théâtre, il y a un courant d'air ascendant qui s'échappe par la cheminée d'appel au sommet du plafond : il faudrait chercher si les qualités acoustiques changent lorsque la salle est fraîche ou lorsqu'elle est échauffée à la fin du spectacle.

Ce courant d'air ascendant pourrait expliquer pourquoi on entend mieux aux places situées en haut du théâtre.

CHAPITRE V

LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU CHANT THÉORIE DE LA FORMATION DES VOYELLES

---

§ I. — **Analyse des voyelles.**

1. Méthode auriculaire, théorie de Helmholtz.
2. Méthodes mécaniques. — 3. Méthodes électriques.
4. Méthodes photographiques.

§ II. — **Synthèse des voyelles.**

§ III. — **Expériences de physiologie.**

1. Sur la bouche. — 2. Sur le larynx.

§ IV. — **Définition des voyelles.**

1. Le larynx seul peut former les voyelles.
2. La bouche sert à les renforcer ou à les transformer.
3. A chaque voyelle émise sur une note donnée correspond une forme de cavité buccale.

§ V. — **Conclusions.**

CHAPITRE V

LES BASES SCIENTIFIQUES DE L'ENSEIGNEMENT DU CHANT
THÉORIE DE LA FORMATION DES VOYELLES

---

§ I. — ANALYSE DES VOYELLES

1. — Méthode auriculaire. — Théorie de Helmholtz.

Nous nous occuperons uniquement des voyelles fondamentales OU, O, A, É, I.

Pour étudier les vibrations qui les constituent, on s'est servi de plusieurs méthodes ; elles peuvent être rangées en quatre classes : première classe : la méthode auriculaire, autrement dit méthode d'audition directe ; seconde classe : les méthodes mécaniques ; troisième classe : les méthodes électriques ; quatrième classe : les méthodes photographiques.

Examinons d'abord la *méthode auriculaire*. Pendant longtemps l'oreille a été le seul moyen d'analyse ; en effet, la photographie n'était pas suffisamment perfectionnée ; on était obligé de faire soi-même les plaques ; elles demandaient un certain temps pour être impressionnées, et l'on était réduit à étudier les vibrations avec l'oreille.

Lorsque, par exemple, on produisait la voyelle A sur une note donnée, un observateur ayant l'oreille musicale disait : vous avez produit la voyelle A sur la note *la*$_3$, si l'on avait donné le *la* normal.

Il vous disait de plus : cette note fondamentale était accompagnée de tel et de tel son, c'est-à-dire : vous avez produit un deuxième et troisième son harmonique (un son harmonique étant celui qui a 2, 3, 4, ... fois plus de vibrations que le son fondamental).

Il y avait ainsi en Allemagne, où l'on faisait ces expériences,

des observateurs ayant l'oreille tellement fine qu'ils pouvaient distinguer douze sons se produisant dans le même moment ; avec des cordes minces, qui donnent les harmoniques supérieurs avec force, Helmholtz pouvait reconnaître jusqu'au seizième son partiel. Tout le monde n'a pas l'oreille aussi bonne.

La méthode auriculaire avait un autre inconvénient : c'est que deux expérimentateurs n'étaient pas toujours d'accord ; vers cette même époque il y eut des discussions très intéressantes entre deux savants allemands, Helmholtz et Kœnig, qui s'occupaient spécialement de ces questions ; comme ils n'avaient pas d'appareils de contrôle, ils ne purent jamais se mettre d'accord : l'un entendait d'une façon, l'autre d'une autre.

On dit souvent qu'il ne faut discuter ni des goûts, ni des couleurs ; mais discuter des sons est encore bien plus difficile.

C'est en se servant de l'oreille comme moyen de contrôle que de nombreux expérimentateurs ont cherché quelles étaient les conditions nécessaires pour produire les voyelles. Helmholtz a soutenu la théorie suivante : les cordes vocales agissent comme des anches membraneuses qui, en vibrant, donnent une note fondamentale accompagnée d'un grand nombre d'harmoniques ; lorsqu'on parle ou qu'on chante, la cavité buccale prend une forme déterminée et constante pour chaque voyelle ; à cette forme correspond une note ; cette note, se trouvant dans la série des harmoniques du larynx, est renforcée : c'est la *vocable ;* la réunion de la note fondamentale laryngienne avec la vocable supra-laryngienne constitue la voyelle.

Il en résulte ceci :

1° Chaque note laryngienne est accompagnée d'un grand nombre d'harmoniques ;

2° Chaque voyelle a une vocable fixe, toujours en rapport harmonique avec la note laryngienne ;

3° La réunion de la note avec la vocable constitue la voyelle.

Mais, lorsque les expérimentateurs ont voulu chercher la vocable de chaque voyelle, chacun d'eux en a trouvé une différente.

Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant :

	MÉTHODE	OU	O	A	É	I
Donders	*Écoutait* la voyelle chuchotée.	fa_3	$ré_3$	$si\flat_3$	ut_5	fa_4
Auerbach	*Écoutait* le son rendu par le larynx frappé avec le doigt, la bouche venant de prononcer la voyelle.	fa_2	la_3	fa_4	la_4	fa_3
Helmholtz	*Écoutait* le son de la voyelle renforcé par un résonnateur.	fa_2, $ré_6$	$si\flat_3$	$si\flat_4$	fa_3, $si\flat_5$	fa_2, $ré_6$
Kœnig	*Écoutait* le renforcement d'un diapason vibrant en avant de la bouche venant de prononcer la voyelle.	$si\flat_2$	$si\flat_3$	$si\flat_4$	$si\flat_5$	$si\flat_6$
Bourseul	*Écoutait* le son rendu par les dents frappées avec le doigt, la bouche venant de prononcer la voyelle.	ut_4	sol_3	mi_2	fa_3	?
Hermann	Méthode graphique.	ut_4, $ré_4$	$ré_4$, mi_4	sol_4	si_5, ut_6	$ré_6$, sol_6

De plus, lorsqu'on a voulu faire la synthèse, il a été absolument impossible de reproduire É et I ; O et A ont été assez médiocres et OU n'était pas très bon.

Ces insuccès dans les expériences de synthèse prouvent que

les conditions posées par Helmholtz, pour faire une voyelle, sont peut-être nécessaires, mais qu'elles ne sont pas suffisantes; de plus, nous allons voir que cette théorie est en contradiction formelle avec les expériences graphiques; celles-ci nous prouveront que la vocable n'est pas fixe et que l'on peut faire la même voyelle non seulement avec beaucoup de formes buccales différentes, mais même sans résonnateur buccal. La voyelle se forme dans le larynx, et la bouche ne sert qu'à la renforcer ou à la transformer.

2° Méthodes mécaniques.

Tous les appareils que l'on emploie sont semblables (*fig.* 43) ; ils se composent d'une surface vibrante devant laquelle on parle ; les déplacements de cette surface étant assez faibles (1/10 de millimètre environ), on augmente leur grandeur par différents procédés : tantôt c'est un levier dont la grande branche inscrit une courbe sur une feuille de papier mobile ; on a un tambour de Marey (*fig.* 43).

Tantôt c'est un style qui pénètre plus ou moins profondément dans un cylindre de cire : c'est un phonographe (*fig.* 44).

Tantôt c'est une flamme de gaz acétylène qui entre en vibration; on la photographie sur une feuille de papier sensible qui se déplace d'un mouvement continu derrière l'objectif : c'est la capsule de Kœnig (*fig.* 44). Seulement, comme on désire avoir des tracés de grande amplitude, on est conduit, pour obtenir un déplacement assez grand de la plaque vibrante, à parler dans une embouchure qui concentre les vibrations et les transmet par un tube jusqu'à la plaque.

Au fond, tous ces appareils sont identiques, et ils devraient donner des résultats comparables entre eux.

Or, il n'en est rien ; il n'y a pas deux tracés qui se ressemblent;

Il s'agit de chercher les causes de ces divergences.

Il y en a deux principales : 1° les appareils n'inscrivent pas

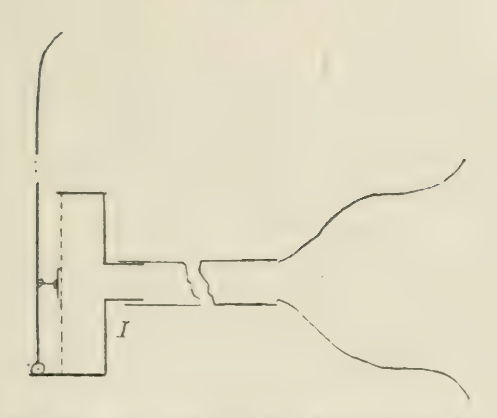


Fig. 43. — Appareil graphique à levier ordinaire.

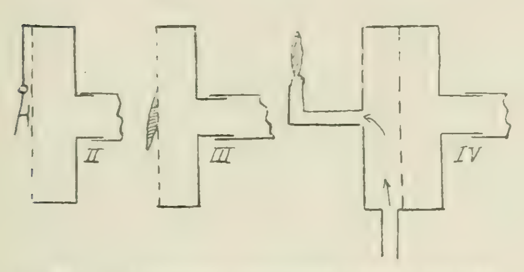


Fig. 44. — Appareils graphiques à levier modifié.
II. Levier remplacé par un miroir et un rayon lumineux.
III. Levier remplacé par un style (phonographe).
IV. Levier remplacé par une flamme (capsule manométrique).

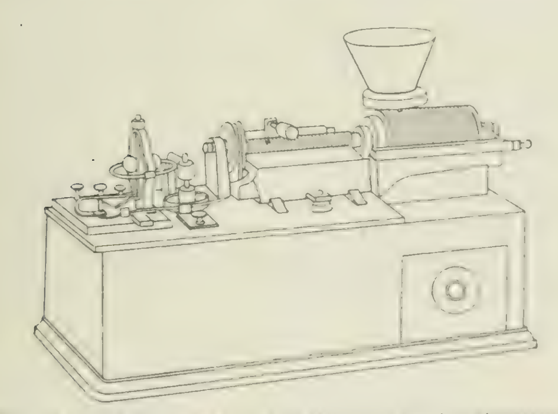


Fig. 45. — Phonographe ne transformant pas les vibrations

toutes les vibrations de la voix; 2° ils inscrivent des vibrations qui n'existent pas.

Nos instruments se conduisent donc un peu comme des journalistes qui viennent nous interroger; dans leurs articles ils ne répètent pas tout ce que nous leur avons dit, et, de plus, ils ajoutent des considérations auxquelles nous n'avions jamais pensé.

Il faut donc, premièrement, vérifier nos appareils, c'est-à-dire faire disparaître les causes d'erreur qu'ils introduisent; deuxièmement, prouver qu'ils ne suppriment que les vibrations accessoires et qu'ils inscrivent bien les seules vibrations nécessaires et suffisantes pour faire une voyelle.

On pourrait presque dire que chacune des parties qui constituent nos instruments introduit une cause d'erreur.

Les embouchures à parois courbes servent de résonnateur; c'est pour ainsi dire une seconde bouche qui se trouve en avant de l'autre et qui transforme tous les tracés.

Le tube est un véritable tuyau sonore; son diamètre et sa longueur ont donc la plus grande importance (*fig.* 46).

La plaque a une vibration propre qui varie avec sa nature et la façon dont elle est fixée; au contraire, une membrane mince et non tendue de caoutchouc transmet toutes les vibrations sans introduire aucun harmonique.

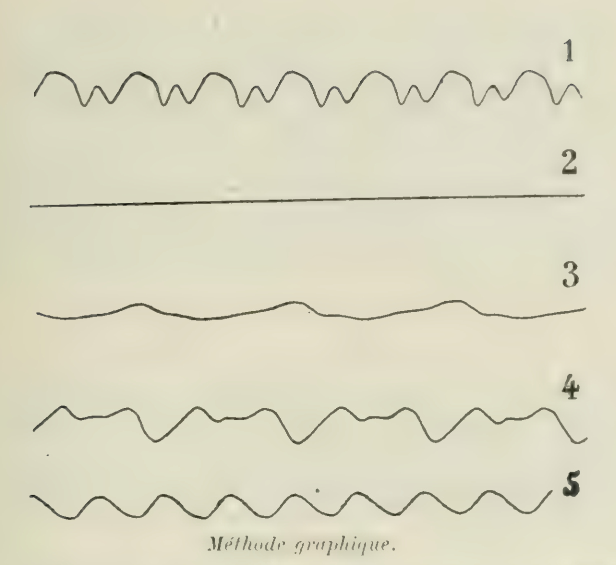
Enfin, si le levier n'est pas très court, il transforme tous les tracés en vibrant pour son propre compte.

Il faut donc supprimer l'embouchure et le tube, puis parler directement devant la partie vibrante; mais, pour empêcher les vibrations de glisser à la surface sans influencer cette plaque vibrante, il faut conserver un léger rebord cylindrique de 3 à 4 centimètres de hauteur.

Il faut, de plus, amortir les vibrations du levier, ou le remplacer par un rayon lumineux réfléchi au moyen d'un miroir qui suit tous les mouvements de la plaque.

J'ai donc employé trois sortes d'appareils:

A. **Appareil à ressort aérien.** — L'appareil que j'ai fait



Méthode graphique.

Fig. 46. — Transformations du tracé d'un diapason obtenues en faisant varier la longueur du tube qui le sépare de la plaque vibrante : le tracé 5 est le seul bon.

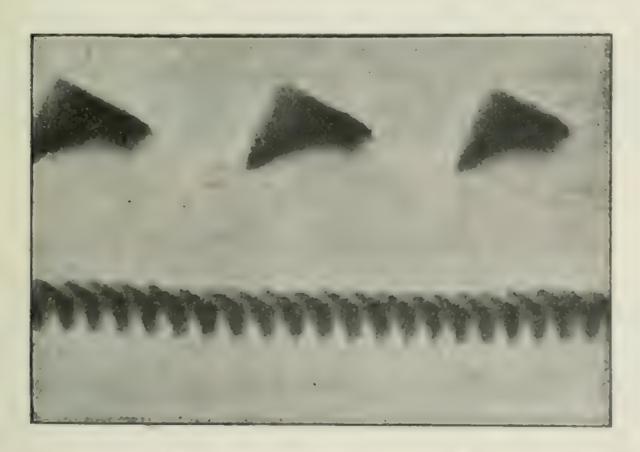


Fig. 47. — En bas, tracé des vibrations d'un diapason *la*$_3$ 435 vibrations obtenu avec une capsule manométrique : en haut, tracé d'un diapason vibrant à $\frac{1}{54}$ de seconde.

construire se compose d'une membrane de caoutchouc non tendue, au centre de laquelle s'appuie la petite branche d'un levier de troisième genre qui ne porte qu'une articulation à son point fixe ; au-dessus de la puissance est collée une petite surface plane en papier sur laquelle on fait arriver un courant d'air sous une pression constante (1 centimètre d'eau) ; cela suffit pour forcer le levier à suivre tous les mouvements de la membrane.

Je me suis assuré d'abord que le courant d'air ne modifiait en rien les résultats.

B. **Capsule manométrique.** — L'appareil est parcouru par de l'acétylène s'échappant sous une pression de 1 centimètre d'eau. Au-dessus, se trouve une autre capsule vibrant, par l'intermédiaire d'un tambour de Marey, à l'unisson avec un diapason électrique au 1/54 de seconde : c'est la flamme chronométrique (*fig*. 47) [1].

Les deux flammes sont photographiées au moyen d'un chronophotographe de Marey à mouvement continu.

C. **Phonographe.** — Je me suis servi tantôt d'un phonographe ordinaire, tantôt d'un phonographe Lioret dont le cylindre de celluloïd était ramolli au moment de l'inscription : les empreintes étaient ensuite transformées en courbes ; cette transformation est indispensable, si on veut faire une étude sérieuse (*fig*. 48, 49, 50, 51).

Résultats. — Quand on écarte ainsi toutes les causes d'erreur, on constate que, quelle que soit la méthode employée, les tracés sont tous comparables entre eux. Quand la voyelle est chantée, on reconnaît la note fondamentale, mais le groupement est assez difficile à retrouver. Les voyelles parlées, au contraire, ont des tracés très caractéristiques ; OU et I sont

(1) *En faisant passer par la trompe d'Eustache au moyen d'une sonde en Y un courant d'acétylène dans l'oreille moyenne d'un chien venant de mourir, on obtient les mêmes tracés qu'avec une capsule manométrique ordinaire, quand on parle les voyelles devant le tympan du chien.*

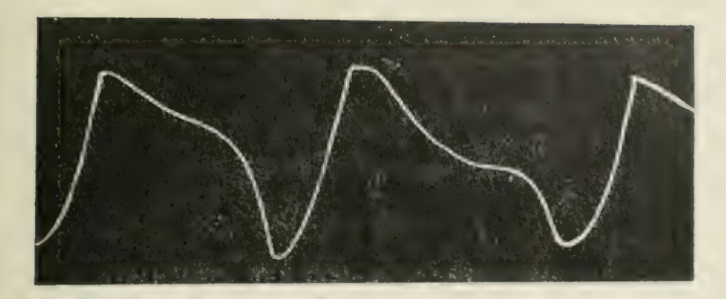


Fig. 48. — É parlé.

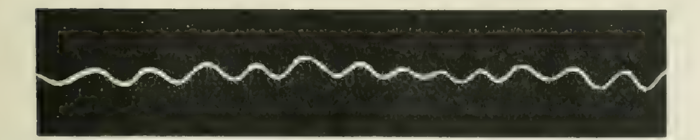


Fig. 49. — É chanté.

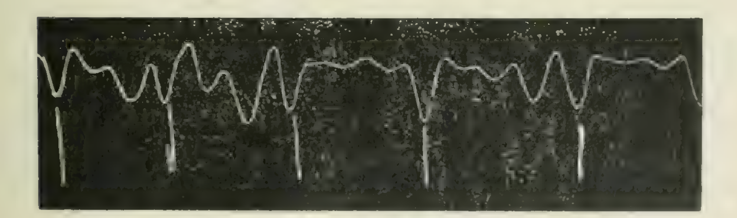


Fig. 50. — A parlé.

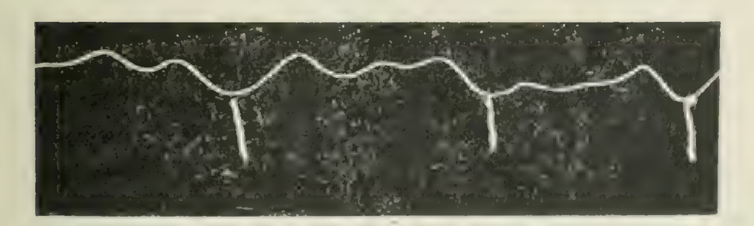


Fig. 51. — A chanté.

constituées par des vibrations isolées, O et É par des vibrations groupées par deux, A est constitué par un groupe de trois vibrations, de manière que l'on peut établir le tableau suivant (*fig.* 52) :

```
I     OU  une vibration
|      |
É      O  deux vibrations
 \   /
   A      trois vibrations.
```

Nous devons alors nous demander si réellement nous n'avons pas supprimé trop de vibrations, et si nous avons bien dans les tracés les conditions nécessaires et suffisantes pour faire une voyelle ; il faut donc reprendre toutes ces expériences avec les méthodes électriques.

3. — Méthodes électriques.

Étant donné que le téléphone répète tout ce qu'on dit devant un microphone, il était naturel de chercher non pas à écouter le téléphone, mais à inscrire soit les variations du courant, soit les vibrations de la plaque ; ces appareils sont, en effet, bien plus sensibles que les précédents ; la surface vibrante, au lieu de se déplacer de 1/10 de millimètre, se déplace de quantités qui sont de l'ordre de grandeur de 1/1000 de millimètre, c'est-à-dire que ses déplacements sont comparables à ceux du tympan. On voit donc que cette méthode doit être très sensible.

a) **Variations du courant.** — Un ingénieur français, M. Blondel, se servant des oscillographes, a pu inscrire les variations du courant téléphonique ; cette méthode permet de suivre les transformations des vibrations sonores en oscillations électriques par l'intermédiaire du microphone et d'un circuit renforçateur. Le dispositif de résonance comprenait l'emploi de trois circuits avec transformateur, élévateur, réducteur et condensateur. A en juger par la pureté des sons de l'arc, on peut admettre que la force électromotrice dans le troisième circuit reproduit très sensiblement les vibrations

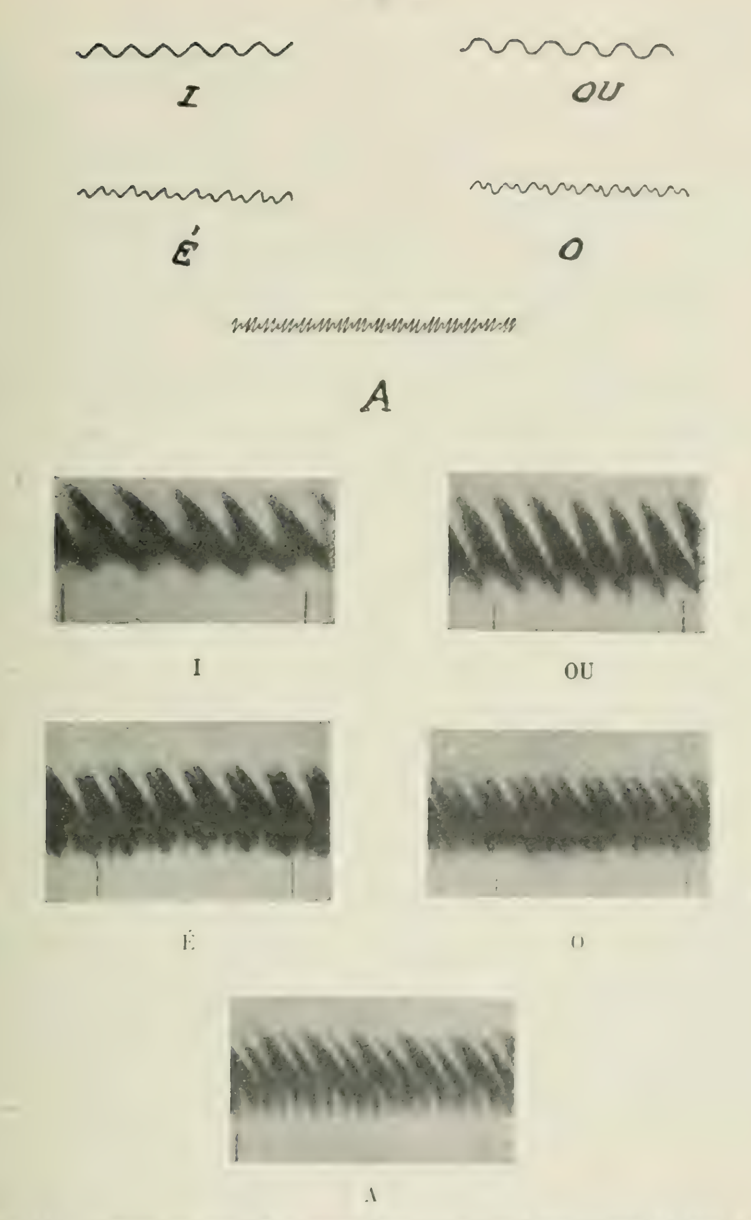


Fig. 52. — Tracés des voyelles obtenus avec la méthode graphique, et avec les flammes manométriques, les causes d'erreur étant supprimées. Entre chaque trait au-dessous des flammes, il s'écoule $\frac{1}{54}$ de seconde.

naturelles de la voix. Un oscillographe était branché en dérivation aux bornes secondaires du second transformateur, et l'on photographiait les courbes correspondant aux voyelles OU, O, A, É, I. Les tracés ainsi obtenus correspondent à ceux que nous avons trouvés avec les méthodes précédentes. Il est donc dès maintenant très probable que nos résultats sont exacts ; nous verrons un peu plus loin que nos prévisions vont se réaliser, car nous pourrons faire la synthèse de toutes les voyelles que nous avons étudiées [1].

b) **Inscription des mouvements de la plaque du téléphone.** — J'ai employé ce procédé en 1907 ; l'appareil dont je me suis servi ne m'a pas permis de dissocier les vibrations, le papier ne se déroulant pas assez vite. J'ai fait construire depuis un autre instrument ; mais j'ai déjà obtenu un résultat qui peut rendre service aux professeurs de chant et de diction en leur permettant de faire voir à leurs élèves les fautes qu'ils commettent ; on constate en effet immédiatement ce qu'un phonographe ne fait voir qu'après une étude longue et difficile ; si un artiste chante en mesure, si sa voix est régulière ou chevrotante et si elle est juste.

Pour cela, j'ai employé la disposition suivante : un microphone et une pile sont mis en communication avec un téléphone. Les mouvements de la plaque vibrante du téléphone sont transmis à un miroir qui reçoit un rayon lumineux ; ce rayon, après réflexion, vient impressionner une feuille de papier photographique mobile, qui passe ensuite dans un bain développateur, puis dans un bain fixateur. Un dispositif spécial, employé dans le télégraphe extra-rapide, permet au rayon lumineux de se déplacer dans un plan horizontal, de manière à écrire des lignes un peu inclinées sur le grand axe du papier ; l'inclinaison des lignes est produite par le déplacement du papier ; chaque ligne correspond à un 1/4 de seconde (*fig.* 53).

La figure 53 représente le même exercice bien chanté, à droite,

[1] M. Devaux-Charbonnel a repris ces expériences avec une méthode simplifiée, il a obtenu de très beaux tracés.



Fig. 53. — Même exercice de chant.

Méthode française à gauche. Méthode italienne à droite.

INSCRIPTION DES MOUVEMENTS DE LA PLAQUE DU TÉLÉPHONE

suivant la méthode italienne, et, à gauche, suivant la méthode française

Le premier tracé, beaucoup plus régulier, indique que, dans ce cas, la méthode italienne a produit une impression plus agréable sur l'oreille ; de plus, elle permet de chanter plus facilement, car cet exercice a duré moins longtemps que l'autre ; cette expérience, répétée plusieurs fois, a toujours donné des résultats analogues.

Ce procédé peut également servir aux professeurs de diction, car on voit facilement la durée de chaque syllabe et la note sur laquelle elle est émise.

4. — Photographie de la voix.

On a vu combien il était difficile d'inscrire d'une façon exacte les vibrations de la voix : les appareils employés sont des instruments de laboratoire peu commodes à régler, et la plupart d'entre eux suppriment des vibrations et en introduisent de nouvelles.

J'ai cherché à remédier à ces inconvénients en faisant construire un appareil qui permet de photographier, de développer et de fixer immédiatement les vibrations qu'une membrane mince en caoutchouc transmet à un petit miroir plan qui suit tous ses mouvements ; la source lumineuse est celle dont on se sert dans le télégraphe extra-rapide présenté en novembre 1906 à la Société de Physique. Ce dispositif permet d'économiser le papier en écrivant perpendiculairement à l'axe du papier photographique, comme si l'on se servait d'écriture ordinaire.

Le papier est entraîné d'un mouvement continu par deux paires de laminoirs parallèles et, après avoir été impressionné, il passe successivement dans deux bains de développement, puis dans un bain de fixage où l'on peut le faire séjourner plus ou moins longtemps (*fig.* 54 et 55).

Tout le système est entraîné au moyen d'un petit moteur électrique à régulateur pour que le mouvement soit bien uni-

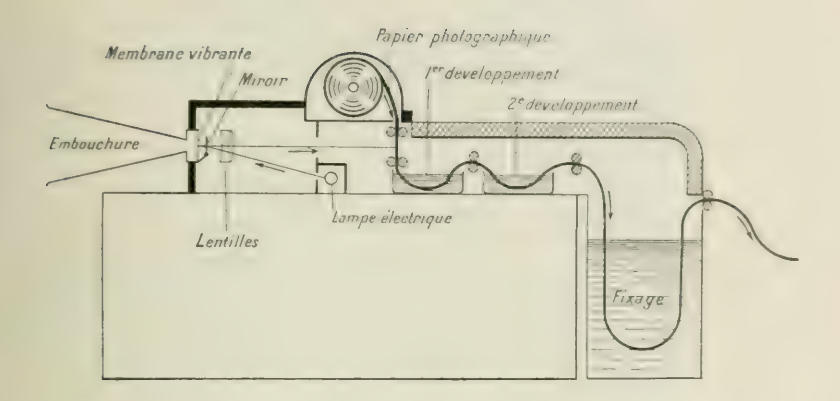


Fig. 54. — Vue schématique de l'appareil pour photographier la voix.

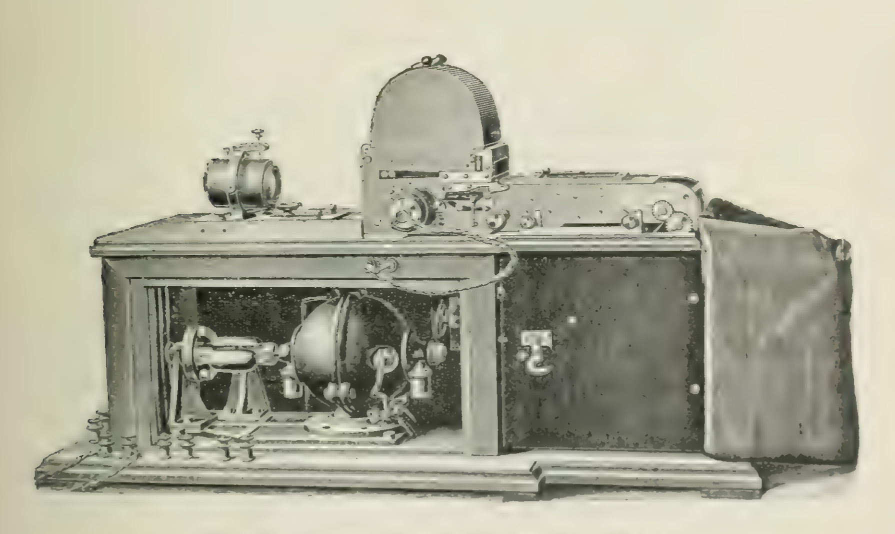


Fig. 55. — Appareil pour photographier la voix.

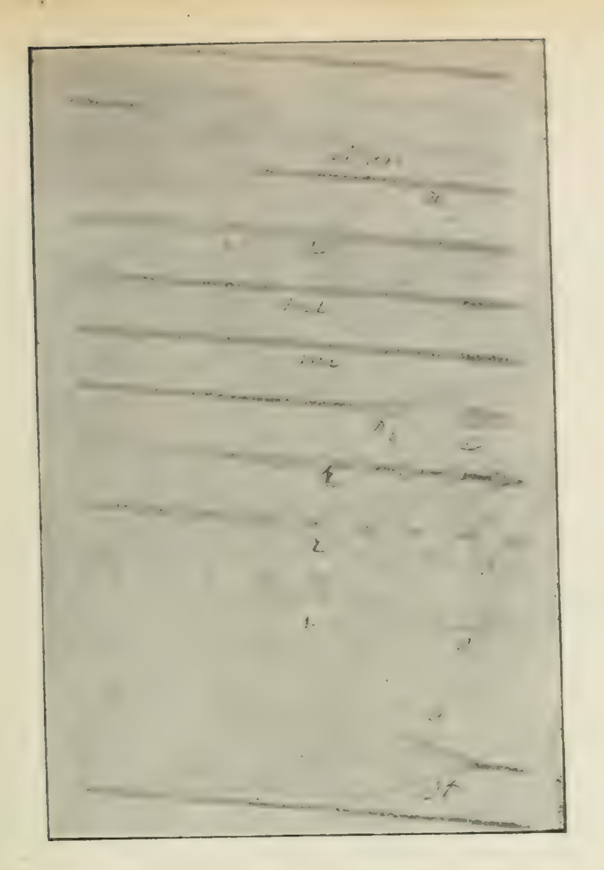
forme. Les tracés que l'appareil inscrit sont exacts, et à n'importe quel moment, quand on emploie les mêmes sources sonores, on retrouve les mêmes courbes.

On obtient ainsi des épreuves ayant jusqu'à 25 mètres de longueur : le morceau de chant que l'on photographie peut durer d'autant plus de temps que le papier se déroule plus lentement; si chaque ligne dure $\frac{1}{4}$ de seconde, on peut chanter pendant 12 minutes : si elle dure $\frac{1}{8}$ de seconde, on peut chanter 6 minutes; on a donc tout le temps nécessaire pour obtenir une longueur de tracés suffisante : la fable la Cigale et la Fourmi s'inscrit très facilement tout entière, on dissocie toutes les vibrations en faisant durer chaque ligne $\frac{1}{6{,}5}$ de seconde.

Expérience. — On commence par déterminer la vitesse d'entraînement, en inscrivant les vibrations d'un diapason à anche : chaque ligne dure à volonté $\frac{1}{n}$ de seconde, n étant égal à 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Résultats. — 1° Si chaque ligne dure $\frac{1}{2}$ seconde, et si l'on emploie l'embouchure en carton dont on se sert pour impressionner les phonographes, on obtient des tracés qui rappellent tout à fait ceux des phonogrammes (*fig.* 56).

Il faut donc aller plus vite pour dissocier les vibrations, et de plus remplacer l'embouchure qui vibre pour son propre compte par un rebord tronconique dont les parois ne vibrent pas et qui empêchent les vibrations de glisser à la surface de la membrane. En regardant la partie supérieure de la figure 56, on comprend le rôle de l'embouchure dans les phonographes; elle a l'inconvénient de transformer le son, mais elle a l'avantage de donner des tracés qui pénètrent bien plus profondément dans le cylindre de cire ; l'appareil parle fort, mais il parle avec moins de pureté que si l'on employait un dispositif différent.



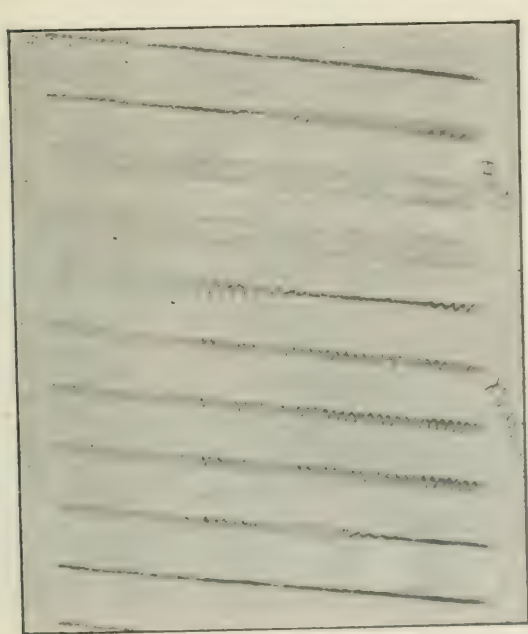


Fig. 56. — Deux photographies de la voix : en haut, chaque ligne dure $\frac{1}{2}$ seconde, les vibrations sont confondues, de plus elles sont amplifiées par une grande embouchure : en bas (bonjour), chaque ligne dure $\frac{1}{4}$ de seconde, les vibrations sont dissociées et elles ne sont pas transformées par une embouchure défectueuse.

2° On obtient pour les voyelles I, OU des tracés à une période, É, O, des tracés à deux périodes. A des tracés à trois périodes, ce sont ceux que j'ai communiqués à l'Académie en me servant d'appareils différents; ils correspondent à ceux qu'a trouvés M. Blondel avec les oscillographes ; dans le corps d'un mot, on retrouve facilement les tracés de ces voyelles.

§ II. — SYNTHÈSE DES VOYELLES

Si nos tracés sont bons, nous devons pouvoir reproduire la voyelle en appliquant les résultats que nous avons trouvés.

Il s'agit donc de construire un appareil qui nous permette de reproduire les vibrations par groupe de une, deux ou trois, suivant que nous voudrons obtenir I et OU, É et O, puis A.

C'est le dispositif suivant qui va nous permettre d'y arriver. On perce d'un certain nombre d'ouvertures triangulaires, également distantes les unes des autres et dirigées suivant les rayons, un disque circulaire métallique mobile autour d'un axe perpendiculaire à son plan et passant par son centre. Nous devons reproduire les voyelles en faisant arriver un courant d'air au moyen d'un tube perpendiculaire au disque (*fig.* 57 et 58).

Si tous ces trous sont également distants, nous devons entendre OU ; si nous bouchons une fente sur trois, nous formons des groupements par deux, et nous devons obtenir la voyelle O.

En prenant un disque analogue à celui-là, mais en disposant les fentes par groupes de trois, nous devons avoir trois vibrations groupées ensemble ; en faisant tourner rapidement le disque, nous aurons la voyelle A. C'est ce que l'expérience vérifie.

Restent les voyelles É et I. Elles ont bien des groupements par un et par deux, mais É n'est pas O, I n'est pas OU. Si nous examinons attentivement les cordes vocales de quelqu'un qui prononce É, nous constatons qu'elles sont rapprochées, tandis que, pour OU et O, c'est un véritable triangle qui se trouve entre les cordes vocales (*fig.* 57).

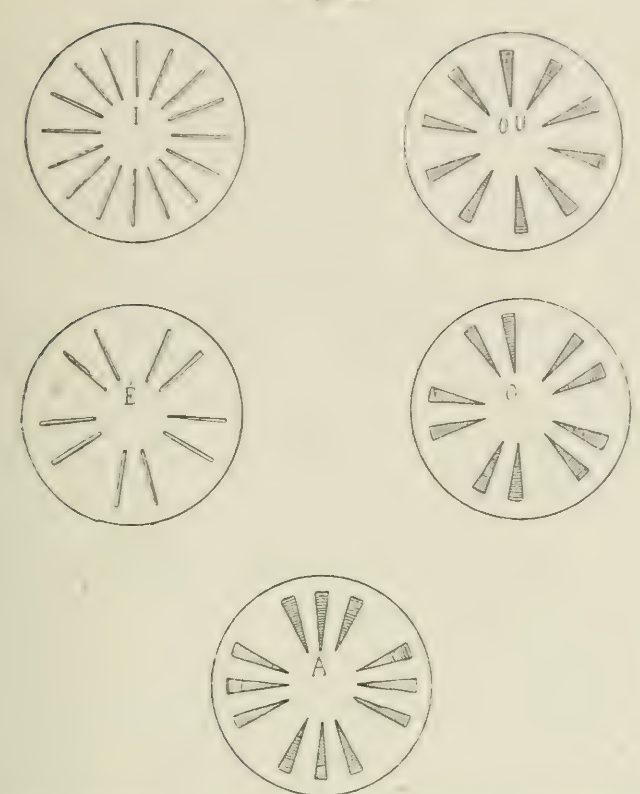


Fig. 57. — Plateaux mobiles donnant les différentes voyelles chantées.

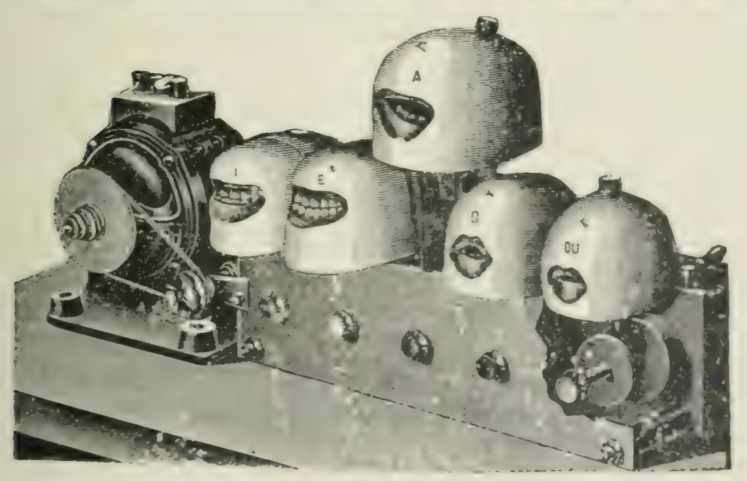


Fig. 58. — Sirène à voyelles et résonnateurs buccaux.

Il faut donc faire des fentes très étroites; et là où nous avions O tout à l'heure, nous devons avoir É; là où nous avions OU, nous devons obtenir I.

C'est encore ce que l'expérience vérifie. De plus, si nous prenons les tracés de ces voyelles artificielles, nous obtenons les mêmes courbes que celles des voyelles naturelles (*fig.* 60, 61, 62, 63, 64).

Nous en arrivons alors à nous demander à quoi sert la bouche, puisque le larynx seul suffit à prononcer les sons voyelles[1].

Pour répondre à cette question, il faut prendre les moules en plâtre de la cavité buccale, ils nous fournissent une bouche artificielle isolée ayant exactement la forme de la bouche naturelle prononçant la voyelle. On place successivement ces bouches sur les sirènes qui reproduisent les voyelles, on prend de nouveau le tracé, et on cherche par tâtonnement la note sur laquelle il faut émettre la voyelle pour obtenir un tracé net c'est-à-dire une voyelle pure.

Elles sont renforcées, c'est-à-dire bien émises dans les conditions suivantes :

Si A est émis sur la note n, la cavité buccale doit donner la note $3n$;

Si É et O sont émis sur la note n', la cavité buccale doit donner la note $2n'$;

Si I et OU sont émis sur la note n'', la cavité buccale doit donner la note n''.

Dans ce qui vient d'être dit, on ne tient pas compte des harmoniques accessoires qui donnent le timbre spécial à chaque voix.

Donc, à chaque voyelle laryngienne bien émise, correspond une forme et une seule de cavité buccale pour un sujet déterminé. Si cette condition n'existe pas, la voyelle est mal émise, c'est-à-dire transformée, et la courbe caractéristique n'existe plus.

(1) Pour le prouver, il suffit d'annuler le résonnateur buccal en le remplissant complètement de stents : bien qu'il n'y ait plus de résonnateur pouvant reproduire la vocable indispensable d'après Helmholtz, un expérimentateur peut émettre les cinq voyelles OU, O, A, É, I. La sirène que nous venons de décrire est donc l'analogue du larynx. (Voir page 92.)

Quand une voyelle A, par exemple, est chantée sur différentes notes, il arrive le plus souvent que son tracé varie à chaque note : la figure 59, empruntée à Hermann, montre bien ce phé-

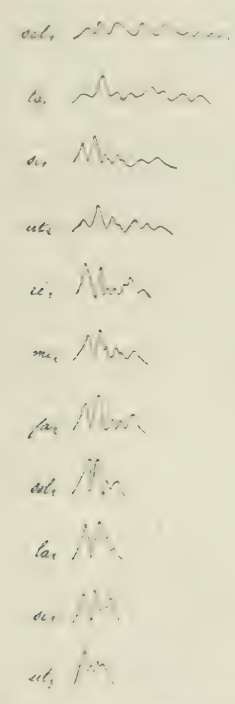


Fig. 59. — A naturel chanté, d'après un tracé de phonographe (Hermann).

nomène ; il semble donc qu'il y ait autant d'A que de notes différentes pour un même sujet ; je vais montrer maintenant à quoi tient cette complexité apparente des tracés d'une même voyelle.

Expériences. — 1. La voyelle synthétique A est émise sur différentes notes par une sirène à voyelles dont les résonnateurs buccaux ont été supprimés : le tracé à 3 périodes reste le même sur toutes les notes (*fig.* 63 et 64, tracé type de A) comprises dans les tessitures (registres pour certains auteurs) de la voix humaine.

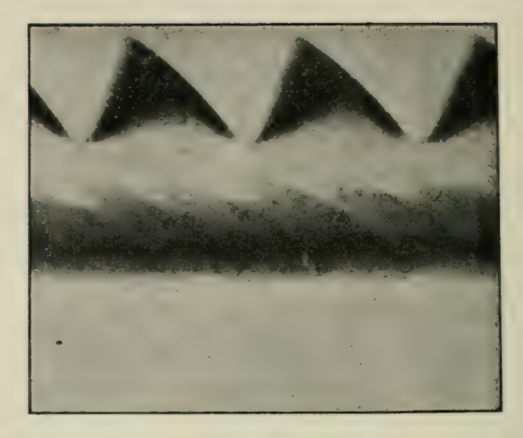


Fig. 60. — Flamme de A avec la sirène seule, note n ; groupements peu nets (voyelle chantée).

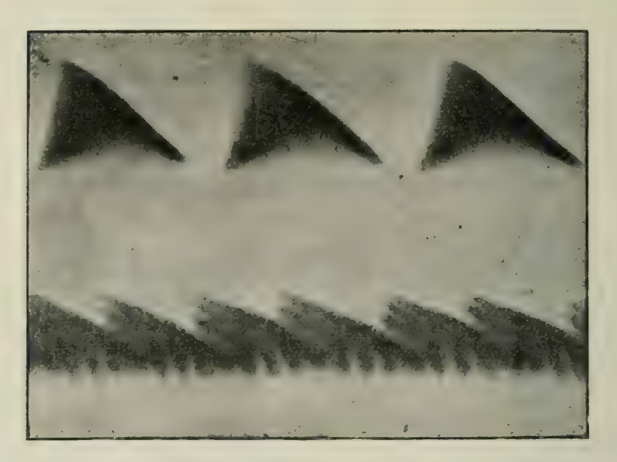


Fig. 61. — Flamme de A avec sirène sur la note n', et moulage donnant une note *voisine* de $3n'$: groupements plus nets (voyelle assez bien parlée).

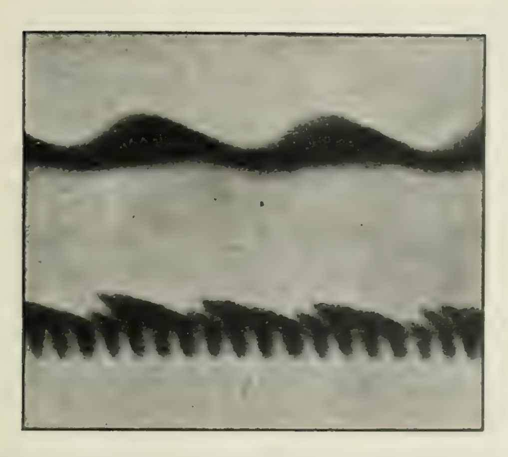


Fig. 62. — Flamme de A avec sirène donnant la note *n*. et moulage correspondant à la voyelle OU (voyelle mal parlée, tenant de A et de OU).

2. *Bouche constante, note variable.* — On ajoute à la sirène A le moulage en plâtre de la bouche prononçant A et renforçant la note la_3 constante ; on fait alors tourner la sirène avec des vitesses différentes, de manière à avoir une note fondamentale variable ; le tracé change à chaque note, et il ne redevient exact, c'est-à-dire à 3 périodes, que si la sirène donne la note fondamentale $la_3/3$ ou $ré_2$ (*fig.* 63). Ces tracés d'une voyelle synthétique sont tout à fait comparables à ceux de la figure 59.

Si on remplace, sur la sirène A, le moulage de A par celui de la bouche prononçant O et donnant sol_3, on obtient encore des tracés différents, et le seul tracé exact à 3 périodes est obtenu lorsque la voyelle est émise sur la note fondamentale $sol_3/3$ ou ut_2 (*fig.* 64). On obtient des résultats analogues avec le moulage de OU qui, renforçant si_2, donne un tracé à 3 périodes lorsque A est émis sur la note fondamentale mi_1.

3. *Bouche variable, note constante.* — On remplace la bouche en plâtre par une bouche en gélatine ou en caoutchouc pouvant prendre des formes différentes ; la sirène A donne constamment la note fondamentale ut_2, commune aux tessitures de basse, de baryton et de ténor ; à chaque forme de bouche correspond une forme spéciale de tracé (*fig.* 65).

4. *Bouche variable, note variable.* — Pour que le tracé de la voyelle reste le même, il faut que, à chaque note, la bouche change de forme suivant la loi que j'ai indiquée au début (*fig.* 66), si la cavité buccale varie d'une façon quelconque, sans tenir compte de la note fondamentale, les tracés se transforment complètement (*fig.* 67).

Conclusions. — 1. En faisant abstraction des harmoniques, qui donnent le timbre de chaque voix et que mon appareil n'inscrit pas, on obtient des tracés très simples pour les voyelles fondamentales OU, O, A, É, I, lorsque ces voyelles sont bien émises.

2. Ces tracés se modifient à chaque note lorsque la bouche n'a pas la forme qu'elle doit avoir ; c'est pourquoi une bonne diction étant très rare dans la voix chantée, j'ai dit qu'il fal-

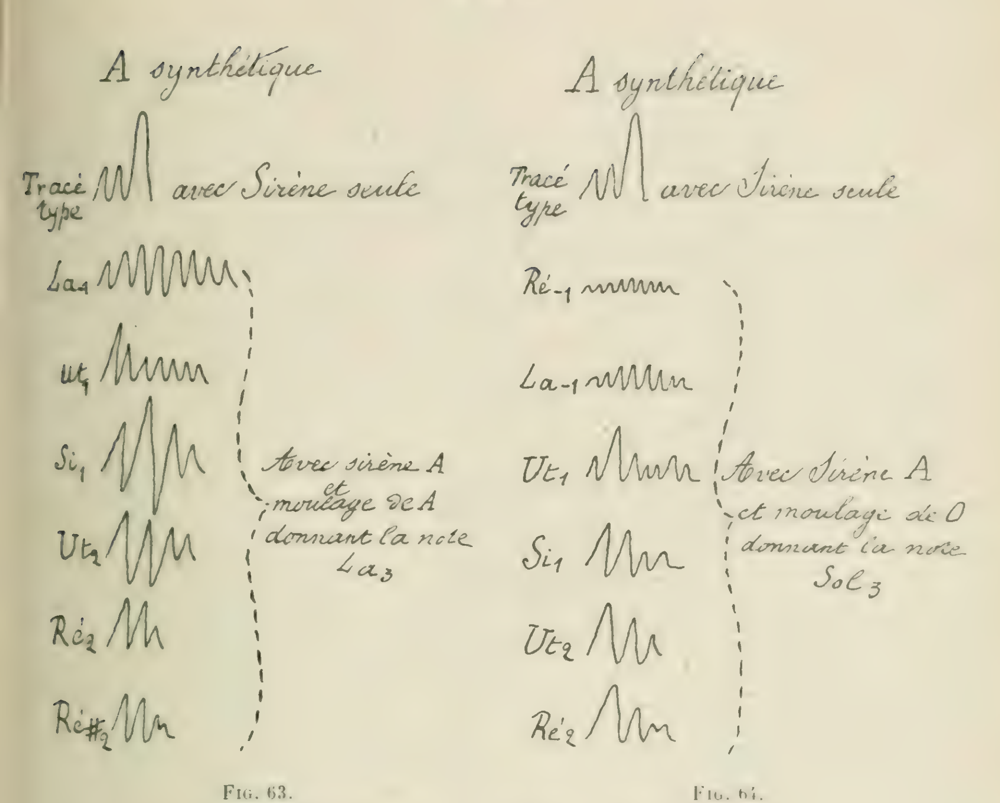


Fig. 63. Fig. 64.

Note variable, bouche conservant la même forme.
Ces figures montrent comment on peut transformer le tracé type de la voyelle synthétique A, et obtenir les mêmes résultats que dans la figure 59.

lait d'abord chercher les tracés caractéristiques des voyelles parlées.

3. Il arrive que certains appareils transforment les tracés, ce qui complique encore les résultats.

4. On comprend pourquoi il est si rare de rencontrer des chanteurs ayant une bonne diction : une belle voix dépend uniquement du larynx et de l'oreille, c'est-à-dire de conditions anatomiques ; une bonne diction nécessite une série d'études longues et difficiles, que peu de chanteurs ont le courage de faire complètement.

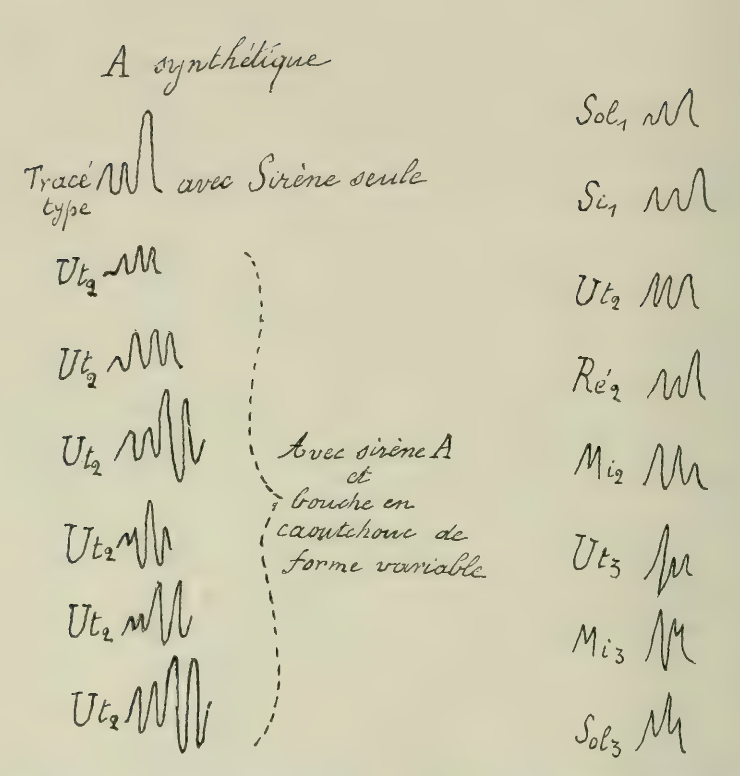


Fig. 65. — A synthétique, note constante, bouche en caoutchouc variant de forme.

Fig. 66. — A naturel chanté sur différentes notes avec une bonne diction, la bouche variant de forme à chaque note.

Remarque. — Il est évident qu'il y a une infinité de voyelles différentes ; celles que nous avons étudiées, OU, O, A, É, I, ne forment qu'un cadre dans lequel les autres peuvent trouver place.

Les autres voyelles dépendent des différentes formes que peuvent prendre les résonnateurs supra-laryngiens ; il est certain qu'un A laryngien émis sur la note *ré*$_3$ ne produira pas la même impression sur l'oreille si les vibrations traversent des

A Tracé type

Fa_{-1}

Sol_{-1}

Si_{-1}

Ut_1

$Ré_1$

Sol_1

La_1

Ut_2

Fig. 67. — **A synthétique avec note variable et bouche en caoutchouc variant d'une façon quelconque.**

résonnateurs donnant la note $si\flat_1$ ou $si\flat_2$; dans le premier cas on a un tracé à trois périodes; dans le second, un tracé à quatre périodes; l'impression sur l'oreille ne doit donc pas être la même.

Quant au timbre spécial à chaque voix, il dépend probablement de la largeur des cordes vocales, de leur épaisseur, du volume des ventricules de Morgagni, de la position des dents, de la fourniture des résonnateurs supra-laryngiens, quantités essentiellement variables non seulement avec chaque individu, mais encore avec l'état actuel de ses muqueuses.

§ III. — EXPÉRIENCES DE PHYSIOLOGIE

Première expérience : la bouche n'est pas nécessaire pour produire une voyelle. — Chez un sujet vivant, on annule complètement le rôle de la cavité buccale en la remplissant de stents, la substance dont se servent les dentistes pour prendre les empreintes ; un tube cylindrique indéformable traverse le stents et conduit les vibrations au dehors ; il n'y a donc plus de vocable buccale, puisqu'il n'y a plus de résonnateur ; cependant le larynx produit parfaitement les cinq voyelles OU, O, A, É, I ; ce sont donc des voyelles laryngiennes ; du reste, leur tracé est caractéristique.

Deuxième expérience : le larynx seul suffit pour produire la voyelle. — Il fallait pousser l'expérience plus loin, isoler complètement un larynx et lui faire rendre des sons analogues à ceux qu'il produit pendant la vie.

Ces expériences ont déjà été tentées par de nombreux physiciens et en particulier par Müller sur des larynx morts et isolés ; ce dernier expérimentateur n'avait pu obtenir que des vibrations ne rappelant pas du tout celles des larynx vivants ; et encore tendait-il les cordes vocales avec des forces bien supérieures à celles que peuvent déployer les muscles intralaryngiens (1 kilogramme parfois) ; ces forces, chez le vivant auraient arraché les aryténoïdes ; on se trouvait donc bien loin des conditions normales. C'est pourquoi j'ai repris ces expériences sur des larynx de chiens.

Technique. — Trois heures après avoir été injecté à la morphine, l'animal est endormi au chloroforme et, pendant le sommeil, le larynx est enlevé avec l'os hyoïde et les cinq ou six premiers anneaux de la trachée; un tube de caoutchouc du même diamètre que la trachée est raccordé à celle-ci par un tube de verre mince, de manière à pouvoir faire passer un courant d'air dont on mesure la pression avec un manomètre métallique extra-sensible, gradué en millimètres d'eau.

Cet air peut être pris dans un réservoir quelconque à 37° environ, ou bien on peut se contenter de souffler soi-même ou de faire souffler dans le tube de caoutchouc.

Les muscles laryngiens sont soumis à un courant d'induction produit par la petite bobine à chariot qu'on trouve dans tous les laboratoires ; le courant primaire est produit par un seul accumulateur. On photographie le larynx au magnésium sur des plaques sensibles au rouge, car les muscles sont gorgés de sang, et on inscrit ces vibrations sur un phonographe.

Résultats. — 1. Si le larynx a été enlevé pendant le sommeil au chloroforme, les muscles peuvent se contracter pendant trois à dix minutes au plus ; si on enlève le larynx immédiatement après la mort, le plus souvent on ne peut obtenir aucune contraction, car le sang artériel s'est écoulé.

2. Pour produire des vibrations, le courant d'air doit avoir une pression variant, comme chez l'homme pendant la phonation, entre 150 et 200 millimètres d'eau.

3. Si l'excitateur est placé au niveau des muscles crico-aryténoïdiens postérieurs, la glotte s'ouvre largement, les cordes vocales s'écartent au maximum, il n'y a aucun son.

4. Si l'excitateur est placé au niveau des ary-aryténoïdiens, les aryténoïdes se rapprochent, et l'on obtient une belle note grave, rappelant à s'y méprendre l'aboiement d'un chien sur une note continue de l'octave 1 (ces notes ont été inscrites au phonographe).

5. Si l'excitateur est disposé de manière à faire contracter non seulement les ary-aryténoïdiens, mais encore les thyro-

aryténoïdiens (cordes vocales), on obtient une note très pure et très aiguë, appartenant à l'octave 3 : c'est une sorte de sifflet sur U, correspondant aux hurlements des chiens qui, la nuit, aboient à la lune.

Cette note, très aiguë, a été obtenue sur un chien de taille moyenne; sur la photographie on voit, que les aryténoïdes ont presque chevauché l'un sur l'autre ; la glotte est devenue très mince et très courte.

6. La hauteur de la note ne semble dépendre ni du courant ni de la pression de l'air, mais uniquement de la position de l'excitateur, c'est-à-dire des muscles qui se contractent.

7. En aucun cas les lois des vibrations des cordes ne m'ont paru s'appliquer aux vibrations des cordes vocales ; celles-ci n'ont pas de son par elles-mêmes, c'est l'air qui vibre.

Conclusions. — 1. En prenant les précautions que j'ai indiquées, ces expériences sont très faciles à répéter dans des cours et des travaux pratiques ; elles peuvent devenir classiques.

2. Les photographies montrent que, à chaque note, le larynx tout entier, épiglotte comprise, change de forme; les figures que l'on trouve dans les ouvrages classiques ne donnent qu'une idée très vague de ce qui se passe réellement dans la pratique.

3. A chaque note correspond une forme spéciale de tout l'organe, et le larynx est un instrument de musique qui change de forme à chaque note.

4. Si l'on ajoute l'influence des résonnateurs supra-laryngiens, on comprend la diversité des tracés que l'on obtient pour une même voyelle. Si l'appareil inscrit tout, il est vrai de dire qu'il n'y a pas deux tracés pareils, car il n'y a pas deux sons absolument pareils.

5. Les cordes vocales n'agissent pas du tout comme des anches membraneuses en caoutchouc, et il n'y a aucune ressemblance entre les sons rendus par des anches en caoutchouc et les sons rendus par des larynx isolés.

6. Ces vibrations se produisent-elles au niveau de la glotte, c'est-à-dire au moment où l'air passe entre les cordes vocales,

ou les ventricules de Morgagni ont-ils, comme le suppose Savart, une influence prépondérante? C'est une question qui, pour le moment, est impossible à trancher.

7. On comprend, d'après ce qui précède, que la voix puisse disparaître subitement sans lésions apparentes des cordes vocales, car tous les muscles adducteurs et toutes les articulations des cartilages laryngiens sont sujets à des lésions rhumatismales qui peuvent se produire en un temps très court.

§ IV. — DÉFINITION DES VOYELLES

D'après les tracés des voyelles synthétiques, on peut définir les voyelles de la façon suivante :

Les voyelles sont dues à une vibration aéro-laryngienne intermittente, renforcée par la cavité buccale et produisant OU, O, A, É, I, lorsque celle-ci se met à l'unisson avec la somme des vibrations, transformée par elle et donnant naissance aux autres voyelles lorsque cet unisson n'existe pas ; le nombre des intermittences donne la note fondamentale sur laquelle la voyelle est émise.

Si la cavité buccale fonctionne seule, on a la voyelle chuchotée.

Si le larynx fonctionne seul, on a la voyelle chantée.

Si les deux fonctionnent en même temps, on a la voyelle parlée.

§ V. — CONCLUSIONS

Quelle que soit la méthode que l'on emploie, il est très facile d inscrire les vibrations de la voix et d'obtenir des courbes très complexes, mais il est excessivement difficile d'obtenir des tracés exacts.

En effet, nos instruments suppriment certaines vibrations et en ajoutent d'autres qui n'existent pas ; il faut donc d'abord les régler.

Les conditions nécessaires et suffisantes pour obtenir les voyelles OU, O, A, É, I sont d'arriver à grouper les vibrations par 1, 2 et 3 ; actuellement on peut, en partant de tracés simplifiés, faire la synthèse de ces cinq voyelles ; les tracés des voyelles synthétiques sont les mêmes que ceux des voyelles naturelles ; de plus, on peut étudier l'influence de la cavité buccale sur les vibrations laryngiennes au moyen de moulages reproduisant la forme de la bouche prononçant une voyelle ; les tracés des voyelles synthétiques montrent les conditions dans lesquelles il faut se placer pour obtenir une voyelle pure, c'est-à-dire une bonne diction, soit dans la voix parlée, soit dans la voix chantée.

Enfin les vibrations de la sirène à voyelles dans laquelle on a supprimé la fourniture des résonnateurs supra-laryngiens qui contribuent à donner le timbre spécial de chaque voix, ont une action spéciale sur l'oreille, ce qui permet de faire la rééducation de l'audition dans les cas de surdité et de surdi-mutité.

CHAPITRE VI

ACOUSTIQUE DES SALLES

---

§ I. — **Principe des expériences.**

§ II. — **Expériences.**

§ III. — **Vérification des expériences.**

§ IV. — **Exemple d'une bonne salle.**

§ V. — **Conclusions.**

§ VI. — **Applications.**

§ VII. — **Travaux à faire.**

CHAPITRE VI

QUALITÉS ACOUSTIQUES DES SALLES (1)

§ I. — PRINCIPE DES EXPÉRIENCES

Dans une salle où se produit un son continu, régulier, un auditeur peut entendre trois sortes de vibrations : 1° l'onde primaire qui vient directement de la source ; 2° les ondes diffusées, en nombre infini, qui sont renvoyées par les parois : elles produisent le son de résonance ; 3° des ondes réfléchies régulièrement par les parois : elles donnent naissance à des échos distincts.

Pour qu'une salle soit bonne au point de vue acoustique, il faut qu'il n'y ait pas d'écho et que le son de résonance soit assez court pour renforcer le son qui l'a produit et ne pas empiéter sur le son suivant. Nous allons étudier les conditions dans lesquelles doit se produire le son de résonance.

Un ingénieur américain, M. Wallace Sabine (2), a trouvé la loi à laquelle est soumis le son de résonance; dans ses expériences, il emploie un tuyau d'orgue donnant ut_3, et il détermine le temps t pendant lequel l'auditeur continue d'entendre le son, lorsqu'il a cessé de se produire. La durée du son de résonance pour n'importe quelle salle est donnée par la formule : $t = \frac{K}{a + x}$, dans laquelle K est une constante qui dépend du

(1) Communication faite à la Société française de Physique, séance du 16 novembre 1906.

(2) *Architectural Acoustics*. Part I : *Reverberation of the American Architectural Acoustics*, 1900; analysé par M. Bouty dans le *Journal de Physique*, t. X, 1901, p. 38, et le *Bulletin des Séances de la Société de Physique*, p. 39, 1901.

volume V de la salle, et il trouve que $K = 0,171\ V$; a est le pouvoir absorbant de la salle vide ; x, le pouvoir absorbant des spectateurs. Si l'on détermine expérimentalement t dans une salle vide où $x = o$, on peut calculer a et ensuite chercher la valeur t' du son de résonance si la salle est pleine ; en effet, l'auteur a établi des Tables donnant le pouvoir absorbant de différents corps et en particulier le pouvoir absorbant par personne (0,44) d'un auditoire, le pouvoir absorbant d'une fenêtre ouverte de 1 mètre carré de surface étant pris pour unité.

§ II. — EXPÉRIENCES

Les pouvoirs absorbants des différents corps que l'on peut trouver dans une salle sont les suivants : on a pris pour unité une fenêtre ouverte de 1 mètre carré :

Fenêtre ouverte	1
Revêtement en pin dur	0,06
— en plâtre sur bois	0,03
— en plâtre sur tuile	0,02
— en verre	0,02
Auditoire par mètre carré	0,96
Auditoire par personne	0,44
Femme isolée	0,54
Homme isolé	0,48
Peintures à l'huile	0.28
Tapis	0,20
Cretonne	0,15
Revêtement de bourre de crin	0,78

J'ai recommencé ces expériences en employant comme source sonore un orateur artificiel, composé de la sirène à voyelles munie des résonnateurs buccaux, de manière à me rapprocher le plus possible des conditions dans lesquelles se trouve un orateur (*fig.* 58, page 93).

La sirène était disposée au point S, où se trouve habituellement l'orateur ; l'auditeur se plaçait successivement en

différents points de la salle 1, 2, 3, 4, ... et l'on déterminait,

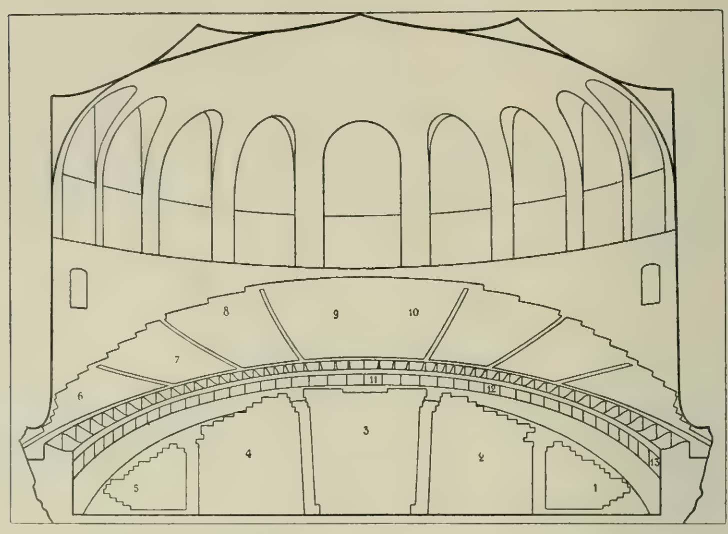


Fig. 68. — Salle du Trocadéro (échelle $\frac{1}{800}$ environ).

en secondes, la durée du son résiduel pour chacune des cinq voyelles synthétiques OU, O, A, É, I.

Conditions de l'expérience :

Voyelles synthétiques.............	OU	O	A	É	I
Notes d'émission (1)................	mi_2	mi_2	mi_2	la_4	la_6
Énergie du son en 1 seconde (2).....	0,052	0,036	0,052	0,036	0,002
Durée du son d'origine, 3 secondes.					

Je vais indiquer les résultats obtenus dans six salles différentes dont le volume variait entre 63.000 mètres cubes (Trocadéro) et 646 mètres cubes (amphithéâtre de Physiologie de la Sorbonne).

Salle du Trocadéro (*fig.* 68) (13 expériences). —

(1) *Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles* (*Comptes rendus*, 9 janvier 1905).
(2) En moyenne un orateur dépense en une heure une énergie de 160 kilogrammètres.

V = 63.000 mètres cubes ; nombre des auditeurs, 4.500 ; diamètre, 58 mètres ; hauteur de la coupole, 55 mètres :

	OU	O	A	E	I
Son de résonance (salle vide) t, moyenne......	2	2,1	2	2	1,9
Son de résonance (1) (salle pleine) t', moyenne.	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4

Pour qu'un orateur se fasse bien comprendre dans cette salle, il faut qu'il parle lentement, en s'arrêtant à chaque phrase ; il ne doit pas parler avec plus d'énergie que s'il s'adressait à 250 auditeurs dans l'amphithéâtre de Physique de la Sorbonne.

Grand amphithéâtre de la Sorbonne (*fig.* 69 et 70) (11 expériences). — V = 13.600 mètres cubes ; nombre des auditeurs, 3.000 ; surface du plafond vitré, 150 mètres carrés ; hauteur du plafond, 17 mètres :

	OU	O	A	É	I
t..............	2	2,8	2,6	1,9	1,8
t'..............	0,9	1	1	0,9	0,9

t' est beaucoup plus petit que t ; l'architecte a eu, en effet, le talent de supprimer presque complètement les parois latérales en les tapissant d'auditeurs, dont le pouvoir absorbant est très grand ; de plus, le plafond vitré n'est qu'à 17 mètres du sol, de manière que l'écho ne peut pas se produire : l'acoustique de cette salle est donc très bonne.

Amphithéâtre Richelieu (*fig.* 71 et 72). — V = 6.000 mètres cubes ; hauteur du plafond, $10^m,50$; nombre d'auditeurs, 800 ; nombre des expériences, 13 :

	OU	O	A	É	I
t..............	1,8	2,2	2	1,6	1,6
t'..............	1,1	0,8	0,9	1	1

(1) Le son de résonance, dans cette salle, présente un phénomène particulier et qui ne se retrouve pas ailleurs : sa valeur est très variable : par exemple, pour E, on trouve 11 fois la valeur 2, puis 1 fois 1,6 ; 2,2 ; et 3 ; c'est ce qui explique pourquoi on entend plus mal à certaines places.

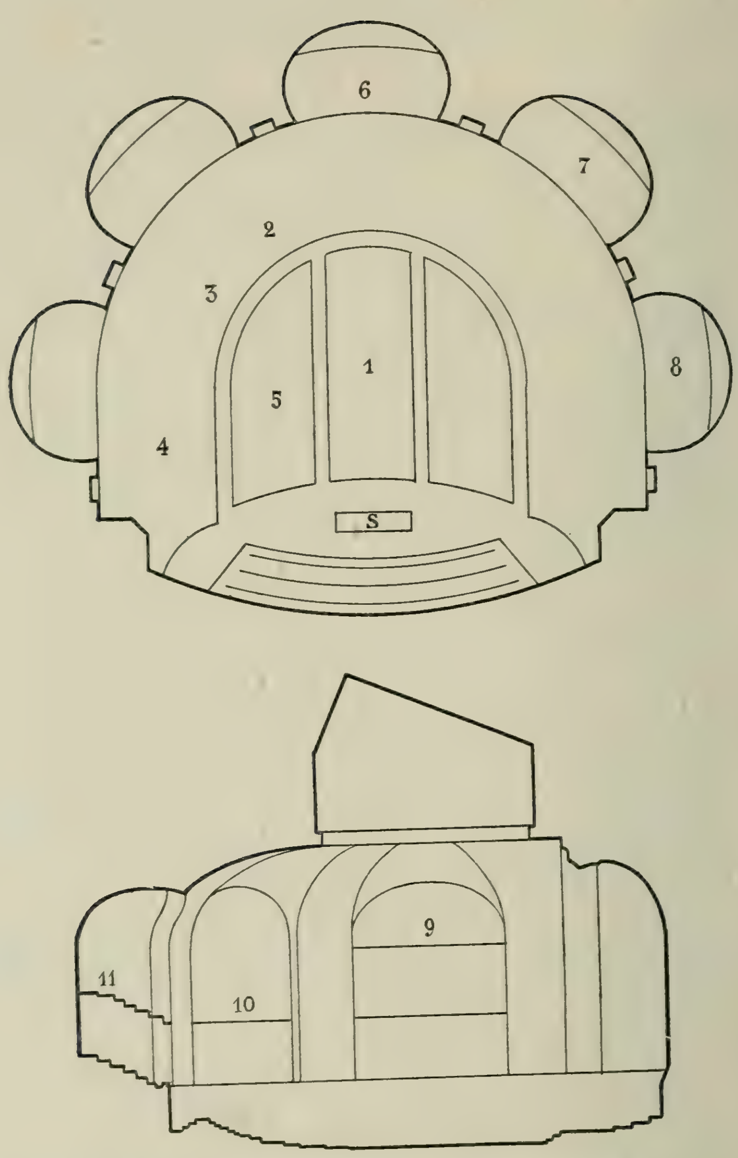


Fig. 69 et 70. — Grand amphithéâtre de la Sorbonne $\left(\frac{1}{400^e}\right)$.

Salle de l'Académie de Médecine (*fig.* 73 et 74). — V = 1.992 mètres cubes; nombre des auditeurs, en moyenne, 200.

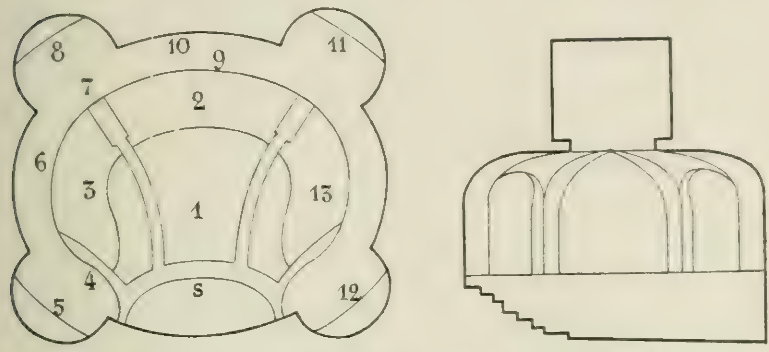


Fig. 71 et 72. — Amphithéâtre Richelieu de la Sorbonne $\left(\frac{1}{400^e}\right)$.

Nombre des expériences, 78 :

t................	0,5 pour toutes les voyelles
t'...............	0.4 — —

Je me suis trouvé en présence de résultats inattendus, aussi ai-je multiplié les expériences; jamais je n'ai trouvé un son de résonance aussi court. Cela montre comment on peut chan-

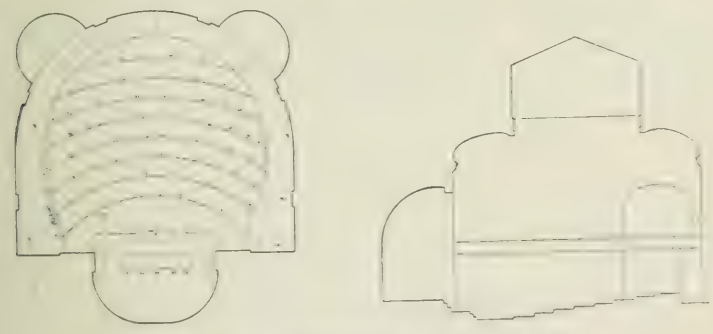


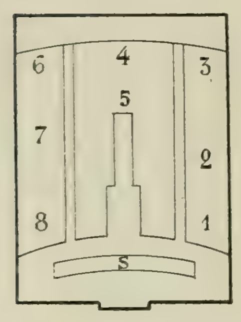
Fig. 73 et 74. — Académie de Médecine $\left(\frac{1}{400^e}\right)$.

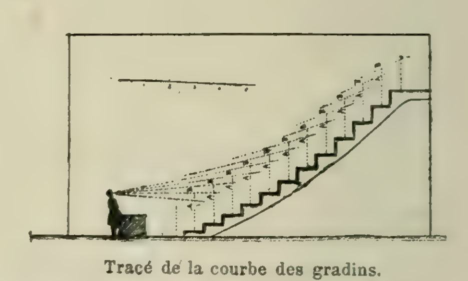
ger les qualités acoustiques d'une salle en augmentant le pouvoir absorbant des parois; pour une salle de cours, dont les auditeurs seraient silencieux, t' serait un peu faible; mais

pour une salle de séances, il vaut mieux avoir une résonance aussi faible que possible.

Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne (*fig.* 62 et 63). — V = 890 mètres cubes ; nombre des auditeurs, 250 ; nombre des expériences, 8 :

	OU	O	A	É	I
Moyenne t.......	1,4	1,6	1,2	1,4	1,2
— t'......	0.6	0,7	0,6	0,7	0,6





Tracé de la courbe des gradins.

Fig. 75 et 76. — Amphithéâtre de Physique de la Sorbonne $\left(\frac{1}{400^e}\right)$.

C'est l'amphithéâtre qui a les meilleures propriétés acoustiques pour la voix parlée.

Amphithéâtre de Physiologie de la Sorbonne. — V = 646 mètres cubes ; nombre des auditeurs, 150 ; nombre des expériences, 8 :

t................	1,4 pour toutes les voyelles		
t'..............	0,7	—	—

L'acoustique de cette salle est donc également très bonne.

§ III. — VÉRIFICATION DES EXPÉRIENCES

Il convient de se demander ce que valent ces expériences au point de vue théorique.

Il est certain que l'oreille n'est pas un moyen de contrôle absolument parfait : en effet cet organe n'est pas également

sensible à tous les sons; les expériences suivantes en sont une preuve.

MM. Zwardemaker et Quix (1) ont cherché le minimum de puissance nécessaire pour produire une sensation sur l'oreille; pour les tuyaux, ils calculaient l'énergie sonore par la méthode de Lord Rayleigh (2), d'après le débit et la pression de l'air. Ils ont trouvé deux maxima de sensibilité pour l'oreille, l'un pour le son 3072 (*sol*$_5$ 3100 vibrations), qui correspond à la résonance du conduit auditif externe, et un autre pour le son *ut*$_3$ (517 vibrations), déjà trouvé par Wead.

Il était intéressant de chercher si les sons voyelles présentaient des phénomènes analogues.

Il est très difficile d'employer les voyelles naturelles, parce que l'on ne peut pas déterminer, chez un sujet normal, le débit et la pression de l'air qui s'écoule des poumons pendant la phonation (3); j'ai donc pensé à employer les sons de la sirène à voyelles; il est facile, en effet, de mesurer sur cet instrument les deux quantités dont on a besoin; le travail dépensé pendant une seconde sera exprimé en kilogrammètres par le produit VH, le volume V étant mesuré en mètres cubes et la pression H en millimètres d'eau (4).

Les conditions de l'expérience étaient les suivantes :

Altitude : 83 mètres;

Date : mois d'août, entre six heures et sept heures du soir;

Température comprise entre 20° et 23°;

Temps sec (il n'avait pas plu depuis un mois);

Vitesse du vent : nulle;

Nature du sol : prairie;

Observateur : oreille très fine, culture musicale nulle.

L'observateur et la sirène étaient à une distance déterminée.

(1) *Archiv für Anatomie und Physiologie Abtheilung : Supplement*. 1902. p. 367-398.

(2) ***Philosophical Magazine***, 1894.

(3) Sur une femme trachéotomisée. Cagniard de Latour avait trouvé que la pression de l'air sortant était de 100 millimètres d'eau pour les sons graves et de 200 millimètres pour les sons aigus.

(4) Lord Rayleigh, *loc. cit.*

et l'on augmentait l'énergie du son jusqu'à ce qu'il fût entendu. Les résultats sont contenus dans le tableau suivant ; l'énergie est exprimée en kilogrammètres et la distance en mètres :

	OU		O		A	
Notes	Énergie	Distance	Énergie	Distance	Énergie	Distance
ut_{-1}	0,06	70	0,012	70	0,016	70
ut_1	0,044	125	0,004	125	0,0033	125
sol_2	0,06	125	0,008	125	**0,00055**	125
ut_3	**0,015**	125	**0,00037**	125	0,00096	125
ut_3	0,038	150	0,0011	150	0,0022	150
ut_3	0,05	210	0,0033	290	0,039	290

	E			I	
Notes	Énergie	Distance	Notes	Énergie	Distance
ut_1	0,0023	70	ut_2	0,00026	70
fa_3	**0,000071**	125	fa_5	0,00045	125
fa_4	0,00013	125	si_5	0,00011	125
fa_4	0,00066	150	fa_6	**0,0000003**	125
fa_4	0,008	290	fa_6	0,0000003	150
			fa_6	0,014 (1)	290

L'oreille pourrait donc être comparée à un tambour de Marey



Fig. 77. — Tabernacle des Mormons.

très sensible, mais inégalement sensible aux différents sons : il serait évidemment préférable de remplacer cet organe par

(1) Lord Rayleigh avait trouvé une énergie de 0,01862 pour un sifflet donnant fa_6 et portant à 200 mètres.

un instrument aussi sensible et ne présentant pas les anomalies que nous avons indiquées. Mais, comme cet appareil n'existe pas, à ma connaissance du moins, et comme, d'un autre côté, ce sont des oreilles qui sont destinées à goûter les qualités acoustiques des salles, il convient de s'en tenir à la méthode précédente.

§ IV. — EXEMPLE D'UNE BONNE SALLE

Il existe en Amérique, dans la capitale des Mormons, à Salt Lake City, une salle excellente au point de vue acous-

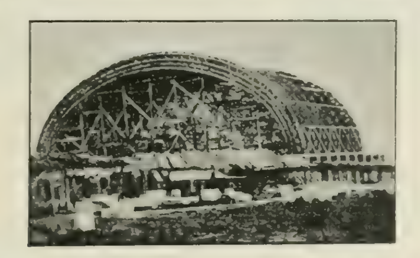


FIG. 78. — Forme de la voûte.

tique : le Tabernacle ; elle contient 7.500 auditeurs : partout on entend merveilleusement.

M. Pascal, architecte, membre de l'Académie des Beaux-Arts, m'a communiqué les photographies qui sont reproduites ici : elles donnent une idée assez exacte du monument. Sur un socle en maçonnerie percé de vingt doubles portes-fenêtres de 3 mètres de large, les seules qui donnent de la lumière, repose une voûte en bois ayant la forme d'un ellipsoïde de révolution (*fig*. 77). La partie intérieure de la voûte est recouverte de planches de parquet ; la partie extérieure est recouverte de tuiles en bois ; la distance des deux surfaces de la voûte est $3^m,50$ (*fig*. 78).

A l'intérieur de la salle, les tribunes (que l'on voit sur la *fig*. 79) sont en bois, ainsi que les sièges.

Les dimensions sont les suivantes : largeur, 50 mètres ; longueur, 83 mètres ; hauteur, 27 mètres.

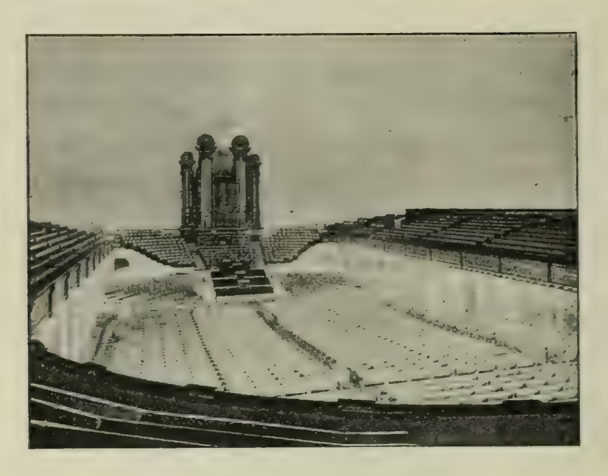


Fig. 79. — Vue intérieure.

Cette salle a été construite de 1865 à 1867 ; elle a coûté 300.000 dollars.

§ V. — CONCLUSIONS

1° Comme l'a dit M. Sabine, le son de résonance peut servir à caractériser les propriétés acoustiques d'une salle ;

2° La durée de ce son varie avec le timbre, la hauteur et l'intensité du son primitif ; ce qui pourrait peut-être expliquer pourquoi une salle peut être assez bonne pour un orateur et mauvaise pour un orchestre ;

3° Avec la formule $t = \frac{K}{a + x}$, on peut déterminer la durée du son de résonance en fonction du nombre des auditeurs ;

4° Pour que l'acoustique d'une salle soit bonne, la durée d'un son de résonance déterminé doit être sensiblement constante pour toutes les places et toutes les voyelles ; elle doit être comprise entre 0,5 seconde et une seconde ;

5° Si cette durée est plus grande que 1 seconde, on n'arrive plus à se faire entendre dans la salle qu'en parlant très lentement, en articulant bien et en ne donnant pas à la voix une énergie trop grande ;

6° Cette méthode permet d'indiquer d'avance à un orateur les conditions dans lesquelles il doit parler pour se faire comprendre de tous ses auditeurs.

§ VI. — APPLICATIONS

1° Quand on doit parler ou chanter dans une salle, il faut auparavant se procurer chez le concierge des renseignements sur la valeur acoustique de la salle ;

2° Si ce résultat ne peut pas être obtenu, il faut essayer de trouver soi-même cette valeur par l'œil et par l'oreille.

Dans une salle vide :

A. *Par l'œil.* — Une salle énorme à plafond très haut, à parois non dépolies par des loges et dont le mur derrière la scène est plus ou moins concave, est probablement trop sonore et doit avoir des échos.

Une salle sans gradins, dont le plafond est bas et muni d'un vélum et qui de plus est beaucoup plus longue que large, est probablement très peu sonore, la voix portera mal.

B. *Par l'oreille.* — On parle ou l'on chante une voyelle pendant trois secondes environ et on entend soi-même le son de résonance ; s'il dure trop longtemps, la salle est trop sonore ; s'il n'existe pas, la salle est sourde, et il faudra ménager ses efforts, car la voix ne portera pas.

3° *Dans une salle plus ou moins pleine :*

A. On se rappellera que les spectateurs ont un grand pouvoir absorbant ; le son de résonance diminuera donc d'autant plus qu'il y aura plus de monde, si en parlant ou en chantant on constate soi-même un léger son de résonance, la voix est entendue de tout le monde.

Si, malgré les efforts que l'on fait, ce résultat n'est pas

obtenu, c'est-à-dire si l'on n'arrive pas à entendre le son de résonance, il est inutile de forcer la voix, on parlera pour les premiers rangs.

B. Si l'on entend un son de résonance très violent, alors il faut diminuer l'énergie de la voix et parler sur des notes graves.

C. Si l'attention des auditeurs diminue, il faut se rappeler que l'oreille est plus sensible aux notes aiguës, et tâcher de parler sur des notes plus élevées.

§ VII. — TRAVAUX A FAIRE

Chaque salle devrait avoir son dossier dans lequel seraient notés ses qualités et ses défauts.

Un livre qui contiendrait ainsi les renseignements sur les salles de Paris aurait un grand succès.

CHAPITRE VII

PORTÉE DES DIVERSES VOIX ET TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION

---

§ I. — **La portée des différentes voix, basse, baryton, ténor.**

§ II. — **Travail développé pendant la phonation.**

§ III. — **Résumé.**

CHAPITRE VII

PORTÉE DES DIVERSES VOIX ET TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION

---

§ I. — LA PORTÉE DE CERTAINES VOIX

Souvent un orateur est embarrassé, quand il parle dans une salle dont il ne connaît pas les qualités acoustiques, pour savoir quelle énergie il doit donner à sa voix de manière à se faire entendre de tous ses auditeurs.

Le problème est assez complexe : nous avons en effet trois facteurs qui peuvent intervenir : la salle elle-même, les auditeurs et l'orateur.

J'ai étudié dans le chapitre précédent (1) l'influence de la salle : on se rappelle qu'une salle est bonne s'il n'y a pas d'écho et si le son de résonance a une durée suffisante pour renforcer le son qui l'a produit sans empiéter sur le son suivant.

De plus, les oreilles des auditeurs ne sont pas également sensibles à tous les sons : à l'état physiologique et en plein air, les sons graves sont entendus beaucoup moins facilement que les sons aigus (2).

Reste l'influence de l'orateur.

On dit généralement que certaines voix *portent* mieux que d'autres ; cette assertion est-elle vraie et que signifie-t-elle exactement ? C'est ce que nous étudierons maintenant.

(1) *Comptes rendus*, 9 avril 1906.
(2) *Comptes rendus*, 9 janvier 1905.

Nous allons donc chercher, dans une salle déterminée, quelle énergie doit donner à sa voix, pour se faire entendre, un orateur suivant qu'il a un registre de basse, de baryton ou de ténor.

L'énergie du son étant donnée par le produit VH du volume V d'air qui s'échappe des poumons sous une pression H, il s'agit de déterminer ces deux quantités.

Or, chez un orateur ordinaire, il est difficile de les mesurer exactement, mais nous pouvons remplacer l'orateur naturel par un orateur artificiel : la sirène à voyelles.

Des expériences nombreuses sur la mesure de l'acuité auditive m'ont prouvé que les voyelles synthétiques OU, O, A, émises sur une même note, fa_2, par exemple, commune aux registres de basse, de baryton et de ténor, produisent la même impression sur l'oreille qu'une de ces trois voix ; il nous suffira donc d'employer successivement ces trois voyelles.

Nous chercherons alors la plus petite énergie nécessaire pour faire entendre un de ces sons à un auditeur placé successivement en différents points de la salle.

Les résultats obtenus sont réunis dans le tableau suivant ; nous donnons pour chaque salle la moyenne de dix expériences, l'énergie du son est exprimée à la seconde en kilogrammètres :

Salles	Basse	Baryton	Ténor
Trocadéro..................	0,0014	0,00012	0,000088
Église de la Sorbonne.......	0,00089	0,00012	0,000088
Académie de Médecine......	0,00026	0,00009	0,000030
Amphithéâtre Richelieu......	0,00015	0,000051	0,000021

On voit de suite que, dans toutes les salles, les voix de basse ont un grand désavantage, puisqu'elles doivent dépenser une énergie de 7 à 16 fois plus grande que les voix de ténor ; les voix de baryton sont intermédiaires, tout en se rapprochant beaucoup plus des voix de ténor.

Si on considère les différentes salles, un ténor doit dépenser 4 fois plus d'énergie au Trocadéro que dans l'Amphithéâtre Richelieu ; au contraire, une voix de basse est obligée, sui-

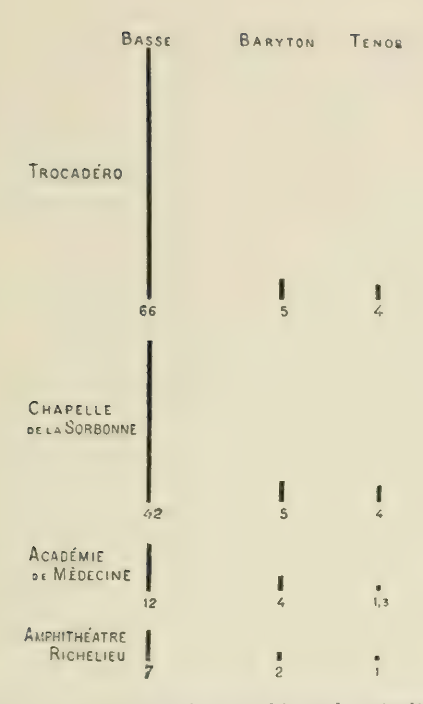


Fig. 80. — Représentation graphique des résultats.

On a pris comme unité l'énergie la plus petite, celle d'un tenor à l'Amphithéâtre Richelieu : les autres lignes verticales ont une longueur proportionnelle à l'énergie des autres orateurs ; les chiffres indiquent cette proportion.

vant la salle, de donner parfois une énergie 9 fois plus grande.

Est-ce à dire que, si l'on donne l'énergie indiquée, tous les auditeurs entendront ? C'est exact, lorsqu'on entend à peu près également bien à toutes les places ; mais il n'en est pas toujours ainsi ; au Trocadéro, par exemple, pour faire entendre les auditeurs les plus mal placés, une basse dépensera une énergie 0,004, tandis que, pour faire entendre ceux des premiers rangs, il suffira de 0,0003, c'est-à-dire 13 fois moins [1].

Si toutes les oreilles étaient normales, certaines d'entre elles entendraient trop ; heureusement les auditeurs, dont l'acuité auditive est inférieure à la normale, choisissent généralement les premiers rangs.

De plus, au Trocadéro, si l'énergie du son est trop grande, la résonance devient gênante, et l'orateur doit, dans cette salle, se rappeler qu'il ne faut pas parler trop fort.

Conclusions. — A égalité de diction :

1° On a raison de dire que certaines voix portent mieux que d'autres ; cette expression signifie simplement que certaines voix ont besoin d'un moindre effort pour se faire entendre ;

2° Un orateur devra développer V et H, c'est-à-dire augmenter V en accroissant sa capacité vitale par des exercices appropriés de ses muscles inspirateurs ; augmenter H en apprenant à faire fonctionner ses muscles expirateurs, tout en ne laissant pas perdre d'air inutilement par la fente glottique ;

3° En pratique, pour se faire entendre d'un auditoire dans une salle inconnue, il faut augmenter peu à peu l'énergie de la voix jusqu'à ce que l'on commence à percevoir soi-même le son de résonance ; alors on diminue un peu l'énergie du son et l'on obtient ainsi les meilleurs résultats.

[1] En pratique, un orateur, quel que soit le timbre de sa voix, dépenserait une énergie plus grande. Les nombres que j'indique représentent l'énergie la plus petite que doit avoir le son pour commencer à être perçu par une oreille très fine.

§ II. — TRAVAIL DÉVELOPPÉ PENDANT LA PHONATION

Dans le paragraphe précédent j'ai indiqué comment, en se servant d'un orateur artificiel, la sirène à voyelles, on pouvait comparer l'énergie dépensée dans une salle par des orateurs ayant des timbres différents ; on a trouvé ainsi qu'une voix de basse, pour produire la même impression sur l'oreille, devait développer un travail de 7 à 16 fois plus grand qu'une voix de baryton ou de ténor.

Il était intéressant de mesurer la valeur exacte de ce travail chez un orateur naturel. Sa valeur est exprimée par le produit VH du volume V d'air qui s'échappe des poumons pendant un temps donné sous une pression H.

Chez un sujet normal, on détermine assez facilement V au moyen du spiromètre; mais il est impossible de mesurer H, puisqu'il faut prendre la pression de l'air dans la trachée audessous de la glotte.

J'ai pu faire des expériences chez deux sujets : le premier avait subi l'ablation totale du larynx, la trachée communiquait au moyen d'un tube souple avec une anche membraneuse en caoutchouc fixée dans la bouche à un palais artificiel [1].

J'ai bifurqué ce tube de manière à pouvoir mesurer la pression au moyen d'un manomètre métallique gradué en millimètres d'eau.

Le débit de l'air, le nombre et la durée des inspirations étaient mesurés de la façon ordinaire.

Le deuxième sujet avait des cordes vocales normales et une canule trachéale ; en faisant communiquer celle-ci avec le manomètre, j'avais constamment la pression H de l'air pendant la phonation ; V était mesuré comme précédemment.

(1) Cet appareil a été construit par M. Delair.

Les résultats sont réunis dans le tableau suivant :

LARYNX ARTIFICIEL

Conversation ordinaire.	*Discours dans une grande salle.*
V L'inspiration dure 1″. L'expiration dure 3″. Le volume d'air expiré = 0^lit,3. Nombre de respirations à 1′ = 15. V = 2,070 litres par heure. H = 100 mm. d'eau à 200 mm. T = 207 kgm. à 414 kgm.	Le sujet ne peut pas augmenter l'énergie de sa voix.

LARYNX NATUREL

Conversation ordinaire (1).	*Discours dans une grande salle.*
V L'inspiration dure 1″. L'expiration dure 5″. Le volume d'air expiré = 0^lit,5. Nombre de respirations à 1′ = 10. V = 300 litres par heure. H = 100 à 160 mm. d'eau. T = 30 à 48 kgm. à l'heure.	L'inspiration dure 2″. L'expiration dure 3″. Le volume d'air expiré = 2 litres. Nombre de respirations à 1′ = 12. V = 1.440 litres par heure. H = 100 à 200 mm. d'eau. T = 144 à 288 kgm. par heure.

Remarques. — 1° La pression de l'air se maintient, que l'on ait affaire au larynx naturel ou au larynx artificiel, entre 100 et 200 millimètres ; pour la simple phrase : « Bonjour, Monsieur ! » le manomètre oscille entre 120 et 160 ;

2° Ce qui fait varier énormément le travail de la phonation, c'est le débit de l'air, qui oscille de 300 litres à l'heure (larynx naturel, conversation) à 2.070 litres à l'heure (larynx artificiel, conversation) ;

3° Les cordes vocales n'ayant pas la même longueur chez l'homme (20 à 24 millimètres) et chez la femme (16 à 18 millimètres), j'ai fait des expériences en changeant la longueur de la partie vibrante des anches membraneuses.

Pour les anches longues (24 millimètres), l'énergie minima pour les faire vibrer est 57 kilogrammètres à l'heure ; pour les anches courtes (18 millimètres) : $14^{kgm},400$.

On peut donc prévoir que les femmes se fatigueront beau-

(1) Le sujet ne parle pas pendant l'inspiration.

coup moins en parlant que les hommes ; on sait, du reste, que les enfants, dont le larynx est encore beaucoup plus petit, peuvent parler toute une journée sans avoir l'air d'éprouver la moindre lassitude.

Conclusions. — 1° Un orateur doit avant tout apprendre à respirer, puisque c'est V qui varie le plus ;

2° Il ne faut pas perdre d'air inutilement, c'est-à-dire que les cordes vocales doivent se joindre sur la ligne médiane ;

3° Les hommes, et, en particulier, les basses, se fatiguent beaucoup plus en parlant que les femmes et les enfants.

§ III. — RÉSUMÉ

Pendant la phonation, il s'échappe des poumons un certain volume d'air sous une certaine pression ; le produit de ces deux quantités, le volume et la pression, donne le travail développé.

Il s'agit de les déterminer :

Le volume d'air qui s'échappe s'obtient assez facilement, mais il est plus difficile de mesurer la pression, car il faut la prendre directement dans la trachée.

On a surmonté ces difficultés en faisant des mesures sur deux sujets : l'un était muni d'un larynx artificiel, l'autre portait une canule trachéale et un larynx normal. Pendant la conversation ordinaire on développe, en une heure, un travail de 48 kilogrammètres environ, c'est-à-dire que parler pendant une heure n'est pas plus fatiguant que soulever à chaque seconde un poids de 13 grammes à 1 mètre de hauteur : une dame en jouant avec son éventail ou un professeur gesticulant avec un morceau de craie dépense un travail beaucoup plus grand.

Pour faire un discours dans une grande salle, le travail est plus considérable, mais il n'est pas énorme ; il est, en moyenne, de 200 kilogrammètres à l'heure : un employé de chemin de

fer fait un travail plus grand en prenant par terre et en chargeant successivement sur son épaule quatre colis de 50 kilogrammes.

On a comparé ensuite le travail développé dans la conversation par une voix d'homme et une voix de femme, et l'on a trouvé que les femmes se fatiguent, en parlant, 4 fois moins que les hommes.

La conclusion pratique de ces expériences est la suivante : le travail développé dépend surtout du volume d'air expiré ; un orateur doit donc apprendre à emmagasiner l'air dans les poumons et à ne pas le laisser s'échapper inutilement.

CHAPITRE VIII

L'OREILLE MUSICALE

Introduction. Audition et acoumètres.

§ I. — Description.

1. **Oreille externe.** — 2. **Oreille moyenne.**
3. **Oreille interne.**

§ II. — Fonctionnement.

1. **Oreille externe :** *a*) **Pavillon ;** *b*) **Conduit auditif.**
2. **Oreille moyenne :** *a*) **Tympan ;** *b*) **Chaîne des osselets.**
3. **Oreille interne :** *a*) **Périlymphe et endolymphe ;** *b*) **Nerf auditif ;** *c*) **Centres auditifs.**

§ III. — Applications.

1. **Oreille musicale.** — 2. **Oreille juste et oreille fausse.**

INTRODUCTION

L'audition, abstraction faite de tout phénomène psychique, est une fonction qui a pour but de faire parvenir jusqu'aux centres auditifs, en les transformant ou non, *les vibrations qui ont été produites dans un milieu solide, liquide ou gazeux.*

Cette fonction de l'audition s'accomplit plus ou moins bien ; son degré de perfection est mesuré par l'acuité auditive.

On évalue l'acuité auditive au moyen des acoumètres.

L'acoumètre idéal serait celui qui permettrait de produire dans des conditions déterminées toutes les vibrations qui peuvent parvenir jusqu'au nerf acoustique.

Or nous avons vu (page 66) *que l'oreille peut entendre trois sortes de sons*, les bruits, la musique, la parole : *nous aurons donc trois sortes d'acoumètres; les uns reproduiront les bruits, les autres des vibrations musicales, les derniers les vibrations de la parole.*

Les instruments des deux premières classes n'indiquent que d'une façon très approximative la façon dont la parole est entendue; un sujet peut avoir à l'un des acoumètres précédents une acuité auditive assez bonne et cependant entendre la voix d'une façon plus que médiocre : c'est un gros inconvénient (voir page 155) ; *la cause est la suivante : les vibrations intermittentes des voyelles n'ont aucun rapport avec les bruits ou avec les vibrations sinusoïdales de certains acoumètres, et à chaque sorte de vibration correspond un centre auditif spécial, indépendant de son voisin.*

Le meilleur acoumètre sera donc l'appareil qui nous a servi à faire la synthèse des voyelles (page 93) : *c'est un orateur artificiel dont la voix peut donner toutes les notes depuis les plus graves jusqu'aux plus aiguës, avec une intensité aussi faible ou aussi forte que l'on veut* (*Mesure et développement de l'audition, page* 198).

CHAPITRE VIII

L'OREILLE MUSICALE

§ I. — DESCRIPTION

L'oreille est composée de trois parties : l'*oreille externe*, l'*oreille moyenne* et l'*oreille interne*.

1° L' *oreille externe* comprend : le pavillon, de forme variable, et le conduit auditif, dont les dimensions moyennes sont : longueur, 21 millimètres, diamètre; 9 millimètres.

2° L'*oreille moyenne* a la forme d'une lentille biconcave dont l'épaisseur est, au centre, 1mm,5, et sur les bords 4 millimètres; sa hauteur est 10 millimètres; elle est fermée du côté de l'oreille externe, par la membrane du tympan (circulaire, diamètre 10 millimètres) ; elle communique avec l'oreille interne par la *fenêtre ronde* (circulaire, diamètre 1mm,5) et la *fenêtre ovale* (elliptique, petit axe 1mm,5, grand axe 3 millimètres) ; de telle sorte que, si l'on prend la surface de la fenêtre ronde pour unité, la fenêtre ovale vaut 2 fenêtres rondes et le tympan vaut 44 fenêtres rondes (*fig.* 81).

L'oreille moyenne est pleine d'air qui communique avec l'atmosphère par un tube, la trompe d'Eustache, s'ouvrant dans le pharynx : la pression est ainsi toujours égale sur les deux faces du tympan. Les vibrations du tympan sont transmises à la fenêtre ronde par l'intermédiaire de l'air, et à la fenêtre ovale par l'intermédiaire de la chaîne des osselets (*fig.* 82), composée du marteau M, de l'enclume E, de l'étrier E ; l'enclume étant au milieu s'articule d'un côté avec le marteau

en A′ (articulation incudo-malléenne), de l'autre en A avec l'étrier (articulation incudo-stapéenne).

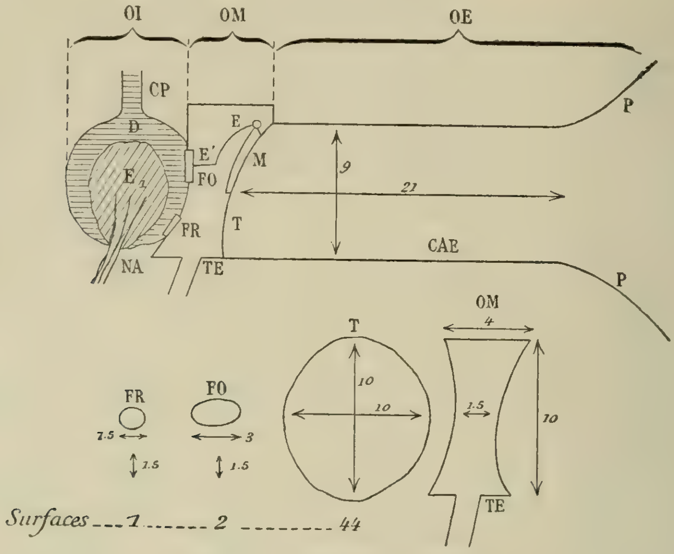


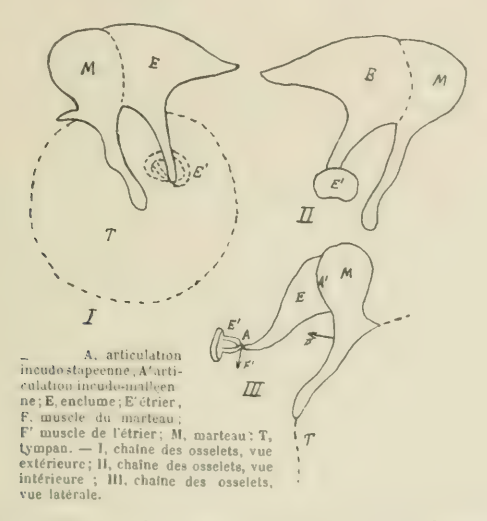
Fig. 81. — Schéma de l'oreille.

OE, oreille externe. — P, pavillon. — CAE, conduit auditif externe. — OM, oreille moyenne. — T, tympan. — M, marteau. — E, enclume. — E′, étrier. — FO, fenêtre ovale. — FR, fenêtre ronde. — TE, trompe d'Eustache. — OI, oreille interne. — D, périlymphe. — CP, canal périlymphatique. — E, endolymphe. — NA, nerf auditif.

Deux muscles agissent suivant les directions des forces F et F′ : l'un, F, le muscle du marteau, augmente la tension du tympan (c'est le muscle qui fait écouter); l'autre, F′, le muscle de l'étrier, empêche les déplacements trop grands de l'étrier (c'est le muscle qui protège contre les vibrations très intenses).

3° *L'oreille interne.* — L'oreille interne a un volume de 200 millimètres cubes environ ; elle est remplie d'un premier liquide, la périlymphe D (*fig.* 81), qui communique avec le liquide céphalo-rachidien par un canal, le canal périlymphatique ; un sac membraneux, le *sac endolymphatique*, est complètement plongé dans la périlymphe et rempli d'un second liquide, le liquide endolymphatique E (*fig.* 81). C'est au

milieu de ce liquide que se trouvent les terminaisons nerveuses du nerf auditif ; le volume de l'endolymphe est à peu près le tiers de celui de la périlymphe. On voit donc que les vibrations extérieures, avant d'impressionner ce nerf, doivent traverser le tympan, la chaîne des osselets, la périlymphe et l'endolymphe, et que tout est disposé, dans l'oreille, non pour augmenter l'intensité des vibrations, mais au contraire pour la diminuer le plus possible.



— A, articulation incudo stapeenne, A' articulation incudo-malléenne ; E, enclume ; E' étrier, F, muscle du marteau ; F' muscle de l'étrier ; M, marteau ; T, tympan. — I, chaîne des osselets, vue extérieure ; II, chaîne des osselets, vue intérieure ; III, chaîne des osselets, vue latérale.

Fig. 82. — Chaîne des osselets, grossie 4 fois en diamètre.

Nous allons étudier maintenant l'action de chacune des parties de l'oreille (1) pavillon, (2) conduit auditif externe, (3) tympan, (4) chaîne des osselets, (5) périlymphe et endolymphe, (6) nerf auditif.

§ II. — FONCTIONNEMENT

1. — Oreille externe

a) **Pavillon.** — Sa forme est très variable suivant les différents animaux ; il contribue à indiquer la direction du son.

Expérience. — Il suffit de supprimer son action en introduisant dans chaque conduit auditif un tube de caoutchouc qui dépasse l'orifice de 1 ou 2 centimètres. L'opérateur ferme les yeux, et il lui est alors très difficile de dire où se trouve exactement un corps sonore produisant une vibration perçue par l'oreille. Le même phénomène se produit, si l'acuité auditive n'est pas la même pour les deux oreilles.

b) **Conduit auditif.** — Longueur mesurée en ligne droite, 21 millimètres; diamètre vertical moyen, 9 millimètres ; diamètre horizontal moyen, $7^{mm},5$.

Il protège l'oreille moyenne et contribue à augmenter l'action des vibrations sur le tympan.

Expérience. — On prend une capsule de Kœnig munie d'une membrane de caoutchouc très mince ; dans la chambre à gaz, on fait passer un courant d'acétylène que l'on allume ; la flamme est photographiée sur une feuille de papier sensible qui passe derrière l'objectif d'un appareil de photographie avec une vitesse de 1 mètre à $1^{m},50$ à la seconde ; si la membrane est directement au contact de l'air sans qu'elle soit entourée du moindre rebord, il est impossible de la faire entrer en vibration, il semble que les vibrations glissent à la surface ; il faut l'entourer d'un cylindre de 2 à 3 centimètres de hauteur pour qu'elle puisse vibrer ; ce cylindre est l'analogue du conduit auditif.

2. — Oreille moyenne

L'oreille moyenne agit à la façon d'un tambour inscripteur dans lequel tout est disposé pour atténuer les déplacements de la membrane ; il suffit de considérer la figure 83 pour s'en rendre compte immédiatement.

a) **Tympan.** — Diamètre 10 à 11 millimètres, épaisseur très faible (une feuille de papier à cigarettes). Le tympan

agit comme une membrane mince qui transmet toutes les vibrations sans introduire ni supprimer aucun harmonique.

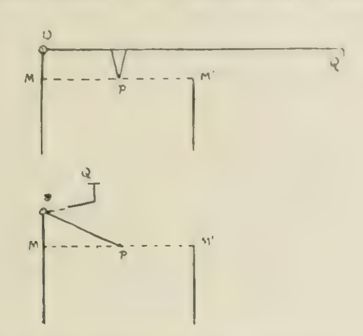


FIG. 83. — A la partie supérieure, tambour inscripteur avec le levier OPQ : à la partie inférieure, l'oreille moyenne avec le levier POQ.

Expérience. — On prend une capsule de Kœnig munie d'un rebord, et l'on photographie la flamme vibrant sous l'influence des voyelles OU, O, A, E, I, que l'on parle devant elle.

Ensuite, on prend la tête d'un chien fraîchement tué, on la coupe en deux parties égales, suivant un plan médian antéro-postérieur, et dans l'une des trompes d'Eustache, on introduit la longue branche d'une sonde en Y. L'une des branches est effilée, par l'autre arrive un courant d'acétylène ; on enflamme le gaz et l'on a une véritable capsule de Kœnig dont la membrane est le tympan ; on parle les cinq voyelles devant l'oreille, et l'on obtient sur du papier photographique les mêmes images que précédemment.

Le tympan est incliné sur l'axe du conduit auditif ; l'angle égale 45 degrés à peu près chez l'adulte, 10 degrés à la naissance.

Quel rapport y a-t-il entre l'acuité auditive et l'inclinaison du tympan ? Ou ne le sait pas encore d'une façon précise ; si l'on fait des expériences avec des membranes plus ou moins inclinées sur l'axe du tube qui amène les vibrations, on ne découvre aucune différence appréciable entre les tracés ainsi obtenus.

b) **Chaîne des osselets** (poids, 12 centigrammes en moyenne). — La grande branche du marteau est encastrée dans le tympan dont elle suit tous les mouvements ; ces mouvements sont transmis à la fenêtre ovale diminués à peu près de $\frac{1}{4}$ dans leur amplitude (*fig.* 83) ; on va démontrer que les déplacements de l'étrier sont de l'ordre de grandeur du $\frac{1}{1000}$ de millimètre.

Expérience. — On se rappellera d'abord que l'intensité d'un son est proportionnelle au carré de l'amplitude des vibrations qui le produisent.

On prend une sirène à voyelles et un appareil graphique dont la masse du levier est sensiblement la même que la masse des osselets, et l'on obtient une courbe, celle de A, par exemple, sous une pression de 200 millimètres d'eau; dans une période de ce tracé, on trouve des amplitudes de :

1 millimètre ; $0^{mm},5$; $0^{mm},25$.

Pour avoir le déplacement de la membrane, il suffit de multiplier ces nombres par le rapport des longueurs des bras de levier, on trouve :

$0^{mm},1$, $0^{mm},05$, $0^{mm},025$;

dans les mêmes conditions, le déplacement de l'étrier aurait été les 3/4 de ces nombres ou :

$0^{mm},075$; $0^{mm},037$; $0^{mm},018$.

Or ce même son, qui vient d'être produit sous une pression de 200 millimètres d'eau est parfaitement perçu par l'oreille sous une pression de 1/2 millimètre d'eau, donc, les déplacements de l'étrier doivent être $\sqrt{400} = 20$ fois plus petits, c'est-à-dire :

$0^{mm},0036$, $0^{mm},0018$, $0^{mm},0009$.

Ces unités sont sensiblement de l'ordre de celles dont se déplace la plaque d'un microphone; ces nombres n'ont donc rien d'invraisemblable.

On pourrait objecter que l'appareil dont on s'est servi n'est pas comparable à l'oreille moyenne, et que cet organe est beaucoup plus sensible; je vais démontrer qu'il n'en est rien.

1. La membrane employée est plus mobile que le tympan, car, pour une augmentation de pression de 1 millimètre d'eau, le tympan se déplace de $\frac{6}{1000}$ de millimètre, tandis que, pour la même pression, la membrane de caoutchouc se déplace de $\frac{16}{100}$ de millimètre, c'est-à-dire 28 fois plus.

2. Le levier a un poids comparable à la chaîne des osselets (14 centigrammes au lieu de 12); de plus, il est soutenu par un axe vertical entre pointes, et il est mobile dans un plan horizontal de manière à annuler l'action de la pesanteur; il n'adhère pas à la membrane, et un petit courant d'air le force à en suivre tous les mouvements; enfin le papier est à peine noirci, et la résistance de la plume est certainement plus faible que celle qui est opposée à l'étrier par le liquide de l'oreille interne.

Remarque. — Lorsque, pour une raison quelconque, la chaîne des osselets est immobilisée, les vibrations peuvent passer directement du tympan à la fenêtre ronde par l'intermédiaire de l'air de l'oreille moyenne, et, si le tympan lui-

même est trop épais pour vibrer, il suffit d'y faire un trou pour que les vibrations passent directement à la fenêtre ronde et que le son soit perçu.

3. — Oreille interne.

a) **Périlymphe et endolymphe.** — Les terminaisons nerveuses du nerf auditif ne sont pas influencées directement par les vibrations arrivées à la fenêtre ronde ou à la fenêtre ovale.

Ces vibrations doivent traverser un premier liquide, la périlymphe, qui, elle-même, entoure complètement un sac clos rempli d'un liquide, l'endolymphe, dans lequel se trouvent les terminaisons nerveuses du nerf auditif. D'ailleurs, je le répète, tout est disposé dans l'oreille de manière non pas à augmenter, mais à diminuer le plus possible l'intensité des vibrations extérieures, avant qu'elles viennent impressionner le nerf auditif.

Il faut déterminer : a) *la nature des liquides ;* b) *comment les vibrations les traversent.*

a) Nature de la périlymphe et de l'endolymphe. — Le liquide de l'oreille contient des cristaux plus ou moins volumineux, les *otolithes ;* on peut sans difficulté étudier ce liquide chez les batraciens.

Chez la grenouille, le contenu de l'oreille interne a une apparence laiteuse, il est relativement facile d'en recueillir 1 milligramme. J'en ai déterminé la densité, elle est 2,18; ce chiffre est très élevé [1].

La composition est la suivante : *c'est une dissolution de bicarbonate de chaux et de magnésie* dans un liquide chargé *d'acide carbonique avec cristaux de carbonates insolubles en excès.*

Au contact de l'air, l'acide carbonique se dégage très rapidement, et il est facile d'en déceler la présence.

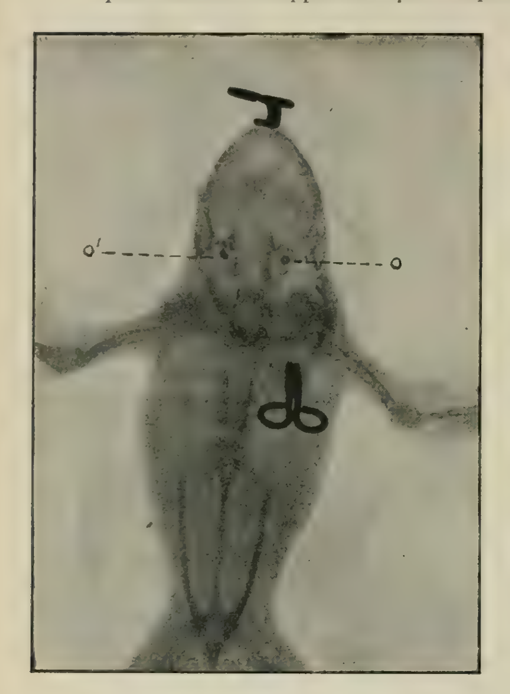
Le liquide lui-même est très volatil; au microscope, il se présente sous l'aspect d'une substance huileuse qui se condense en gouttelettes; il a été impossible d'en recueillir suffisamment pour en déterminer la composition.

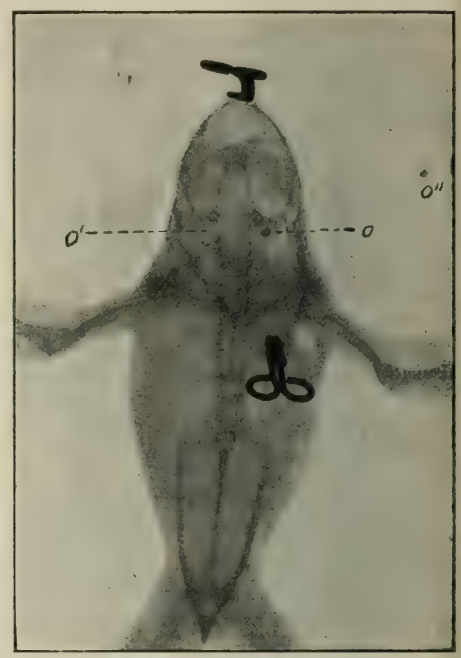
Les cristaux qui restent sont formés de carbonate de chaux et de très petites quantités de carbonate de magnésie ; les plus volumineux d'entre eux sont de la grosseur d'un globule sanguin (32 μ) ; les autres, 98 0/0 à

(1) Pour obtenir la densité, il suffit d'avoir une série de liquides de densités connues non miscibles avec la périlymphe : on cherche par tâtonnement le liquide dans lequel une goutte de périlymphe reste en équilibre : la densité de la périlymphe est alors égale à celle du liquide.

peu près, sont beaucoup plus petits, et il y en aura un grand nombre qui sont à peine visibles avec un grossissement de 450 diamètres.

Ces otolithes sont solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, et on peut les faire réapparaître par évaporation.





Otolithes O et O'. L'otolithe O' a été enlevé et placé en O''.

Fig. 84 et 85. — Radiographie des otolithes de la grenouille.

Le contenu de l'oreille interne est donc constitué par une dissolution de bicarbonate de chaux et de magnésie avec des cristaux en excès de carbonates insolubles ; la grande densité de ce mélange en fait un très bon conducteur du son ; et ce milieu est aussi homogène qu'un acier quelconque, comme il est facile de s'en convaincre en étudiant ces solides au microscope.

On peut manifester l'existence de ces cristaux chez l'animal vivant.

Pour cela, on radiographie une grenouille vivante. Le maxillaire inférieur a été rabattu sur le thorax, de manière à diminuer l'épaisseur des tissus; les taches O et O' représentent les otolithes (*fig.* 84); dans la figure 85, un des otolithes O' a été enlevé et placé en O'' sur la plaque.

Les expériences faites sur les oiseaux ont prouvé que la densité du liquide de l'oreille interne était, chez ces animaux, voisine de 1,045; les otolithes existent en faible quantité, mais il a été impossible jusqu'ici de recueillir du liquide pur en quantité suffisante pour faire l'analyse.

Ces recherches ont été poursuivies chez les mammifères ; mais il s'est présenté une difficulté nouvelle : l'impossibilité chez les mammifères d'avoir du liquide pur non mélangé avec le sang. On s'explique alors pourquoi certains auteurs ont prétendu que la composition du liquide interne se rapprochait de celle du sérum sanguin.

Pour résoudre la question, on peut prendre une méthode détournée qui est la suivante : supposons que la composition de ce liquide soit analogue chez l'homme et chez la grenouille, et que l'on fasse réagir sur lui une solution d'un sel acide de quinine, du chlorhydrate par exemple, il se formera des chlorures de calcium et de magnésium solubles, et il se déposera des cristaux de chlorhydrate de quinine : la réaction se fait très facilement sur le porte-objet du microscope.

Le même phénomène se passe très probablement dans l'organisme, et c'est ce qui pourrait expliquer la surdité et les bourdonnements produits par les sels de quinine et certains autres médicaments donnant des réactions du même genre.

La conséquence est que, pour éviter les bourdonnements dus à ce corps, il faut employer des sels qui ne puissent pas réagir chimiquement sur le liquide de l'oreille interne : du carbonate ou du bicarbonate de quinine, par exemple; ces sels étant complètement insolubles, on s'est servi d'un composé voisin, l'éthylcarbonate de quinine; or il se trouve que ce produit, qui est sans action sur le liquide de l'oreille interne, donne des tintements d'oreille très atténués. Il y a là peut-être une simple coïncidence, mais elle est intéressante à signaler. L'éthylcarbonate de quinine a pour formule :

$$CO\begin{cases} OC^{20}H^{26}Az^{2}O \\ OC^{2}H^{5} \end{cases}$$

En résumé, on se trouve, chez la grenouille, en présence d'une dissolution, dans un liquide de nature indéterminée, de bicarbonate de chaux et de bicarbonate de magnésie avec cristaux de carbonates en excès ; et l'une des fonctions des otolithes est probablement de maintenir aussi constante que possible la conductibilité acoustique de ce milieu. Il est très probable que la composition de la périlymphe et de l'endolymphe est analogue chez les oiseaux et chez les mammifères.

b) *Passage des vibrations à travers la périlymphe et l'endolymphe.* — La question à résoudre est la suivante : étant donné que l'étrier se déplace de millièmes de millimètre, quelle est la nature des mouvements que ces déplacements

impriment aux liquides de l'oreille interne : la périlymphe et l'endolymphe ?

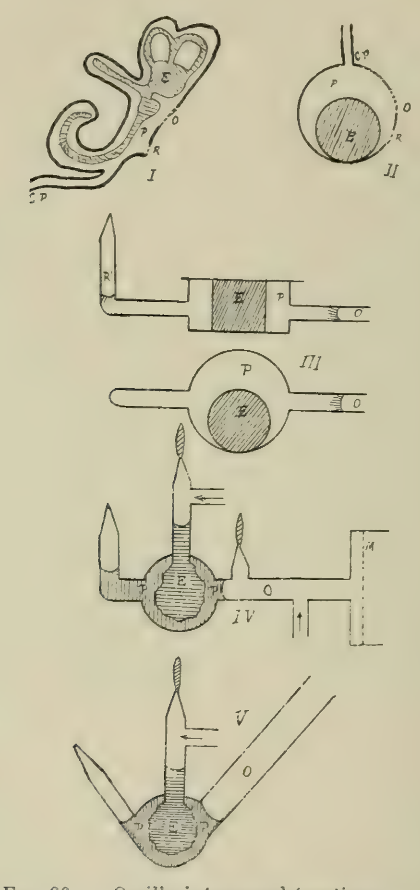


Fig. 86. — Oreille interne schématique.
CP, canal périlymphatique. — E, endolymphe. — M, membrane vibrante. O, fenêtre ovale. — P, périlymphe. — R, fenêtre ronde. — R', manomètre à air.

Deux théories sont aujourd'hui en présence : la première, encore classique, est celle de Helmholtz ; pour cet auteur, « ce sont des vibrations transmises aux liquides, et certaines parties de l'organe de Corti vibrent à l'unisson ». La seconde tlhéorie, plus récente, admet que ce sont des mouvements du iquide en totalité qui vient frotter à la fois toute la surface

épithéliale auditive. Les expériences qui suivent montrent que ces deux théories ne semblent pas absolument exactes et qu'il faut en admettre une troisième.

Première expérience. — Dans un tube de verre de 2 millimètres de rayon, de manière que sa section droite ait une surface à peu près égale à celle de l'étrier, on met de l'eau distillée contenant des otolithes de grenouille, et l'on soumet ce liquide aux vibrations de la sirène à voyelles, transmises par l'intermédiaire d'une membrane de caoutchouc ; quelles que soient l'intensité des vibrations et leur durée, quel que soit le volume du liquide, il est impossible de constater aucun déplacement des otolithes.

Deuxième expérience. — L'oreille interne est représentée schématiquement dans la *fig.* 86 ; un sac membraneux, fermé, contenant l'endolymphe E et les cellules auditives, est plongé dans un récipient qui renferme la périlymphe P ; ce liquide est mis en rapport avec l'extérieur par les trois moyens suivants :

a) La fenêtre ovale O qui suit les déplacements de l'étrier ;

b) La fenêtre ronde R, dont la surface est la moitié de la première ; elle suit en sens inverse tous les mouvements de la fenêtre ovale ;

c) Le canal périlymphatique CP qui communique avec le liquide céphalorachidien. La figure représente un schéma encore plus simplifié, mais contenant les éléments essentiels de l'oreille interne.

On peut facilement reproduire ce dispositif de la façon suivante : deux petits cylindres de même hauteur (III), mais de diamètre inégal, sont tangents intérieurement ; leurs bases sont formées de deux lamelles de verre ; le cylindre intérieur (endolymphe) est en baudruche très mince ; le cylindre extérieur en verre (périlymphe) communique avec deux tubes à 180° l'un de l'autre : l'un des tubes est recourbé et effilé ; il contient de l'air R', qui forme un petit manomètre et représente la résistance opposée par la fenêtre ronde et le canal périlymphatique ; les deux cylindres sont remplis d'eau contenant des otolithes ; les liquides sont soumis, par l'intermédiaire du tube ouvert O, à des vibrations bien déterminées et dont on connaît le tracé.

Si l'on examine au microscope ce qui se passe pendant les vibrations, on constate que la périlymphe est animée de mouvements de va-et-vient en totalité, tandis que l'endolymphe est absolument immobile ; donc les cellules auditives ne sauraient être influencées par des transports du liquide en totalité, puisque le liquide dans lequel elles baignent ne bouge pas.

Troisième expérience. — Il s'agit de prouver que le sac endolymphatique est soumis à des différences de pression ; pour cela, on répète l'expérience précédente en remplaçant les deux cylindres par des sphères tangentes intérieurement (IV) et (V) ; la sphère intérieure, en baudruche très mince, communique avec un tube ouvert et effilé, relié latéralement avec un autre tube par lequel arrive du gaz acétylène ; le tout est rempli du même liquide que l'appareil précédent ; le volume total du liquide est le même que celui de l'oreille interne (200 millimètres cubes environ).

Si l'on examine le ménisque au microscope, on voit qu'il est animé de mouvements très rapides de bas en haut, qui indiquent des différences

de pression. Il est important de voir si ces différences de pression ont un certain rapport avec les tracés des voyelles ; pour cela, on allume le gaz acétylène, et, avec un chronophotographe de Marey à mouvement continu, on photographie la flamme lorsque le liquide est soumis aux vibrations des voyelles.

On constate que l'on obtient les mêmes tracés que si l'on photographiait directement les vibrations dans l'air. Donc le sac endolymphatique, qui, dans la nature, est complètement clos, est soumis à des pressions variables et groupées de façon spéciale pour chaque voyelle.

Pour voir au microscope les déplacements du ménisque, il faut employer des sons qui donneraient à l'étrier des déplacements de quelques centièmes de millimètres, tandis que cet osselet se déplace au plus de $\frac{1}{1000}$ de millimètre, c'est-à-dire que ces sons ne pourraient être supportés par une oreille normale.

Il est facile de comparer l'intensité des vibrations employées avec l'intensité des vibrations de la voix, et de conclure, comme on l'a fait, une valeur approximative des pressions qui s'exercent sur le sac endolymphatique.

Ces pressions (de l'ordre de 10^{-10} centimètres pour une voix ordinaire d'intensité égale à 20) sont voisines des dimensions attribuées aux atomes (10^{-9}) et de l'espace qui les sépare (10^{-8}).

En résumé, les vibrations, en arrivant au tympan, communiquent à l'étrier des déplacements qui sont au plus de l'ordre de $\frac{1}{1000}$ de millimètre ; ces déplacements, transmis par la périlymphe, impriment au sac endolymphatique des variations de pression qui sont groupées comme les tracés des vibrations qui arrivent au tympan ; on pourrait presque dire que l'étrier agit à la façon d'un manipulateur de télégraphe Morse.

Les variations de pression dans l'oreille interne sont représentées par des unités de même ordre que les actions qui impressionnent les autres nerfs sensoriels ou sensitif ; le nerf acoustique cesse ainsi d'être une exception et rentre dans la loi commune.

b) **Nerf auditif.** — Comment un son impressionne-t-il les terminaisons nerveuses ?

C'est une question excessivement complexe qui n'est pas encore tout à fait au point.

Les différentes théories émises pour expliquer l'audition peuvent se ramener à deux :

Pour Helmholtz et ses disciples, certaines parties du limaçon ne peuvent être influencées que par un seul son de hauteur déterminée ; lorsqu'il se produit une vibration complexe, l'oreille en fait l'analyse comme, en mathématique, on fait l'analyse d'une courbe périodique continue, au moyen de la série de Fourier.

Pour d'autres auteurs, tous les filets nerveux seraient également impressionnés, et ce seraient des centres nerveux différents situés dans le cerveau qui réagiraient différemment.

a) HYPOTHÈSE DE HELMHOLTZ. — *Première objection*. — Le limaçon n'existe pas chez les oiseaux, qui sont des chanteurs excellents et qui, cependant, entendent et s'entendent chanter.

Deuxième objection. — L'hypothèse de Helmholtz peut se résumer en deux lignes ; chaque fibre de Corti est accordée pour un son, et elle vibre par sympathie lorsque ce son est produit à l'extérieur.

Cette théorie si simple semblait avoir été confirmée par les observations de Hensen [1]. Au moyen d'un appareil reproduisant les dispositions du tympan et des osselets, ce savant conduisait le son d'un cor à piston dans l'eau d'une petite caisse où était fixée une *Mysis*, en sorte qu'on pouvait observer au microscope les soies extérieures de la queue.

On constatait ainsi que certains sons du cor faisaient vibrer fortement certaines soies ; d'autres sons ébranlaient d'autres soies [2].

J'ai repris les expériences de Hensen au laboratoire de Roscoff ; le dispositif employé était le suivant :

Une membrane mince non tendue en caoutchouc transmettait, par l'intermédiaire d'une colonne d'air de 0m,10 de longueur, les vibrations qu'elle recevait, à 1 centimètre cube d'eau contenu dans une petite cuve où se trouvait une *Mysis*.

L'observation est facile sans fixer l'animal, car celui-ci se place presque toujours la tête vers les bords de la cuve et la queue vers le centre.

(1) *Etude sur l'organe de l'ouïe chez les Décapodes* (*Journal de Zoologie scientifique* de SIEBOLD et KÖLLIKER, Bd. XIII).

(2) HELMHOLTZ, *Théorie physiologique de la musique*, 2e édition, p. 187, traduction française.

Les sources sonores employées étaient les diapasons :

à branches.....	$si\flat_2$	$si\flat_3$	$si\flat_4$	$si\flat_5$	$si\flat_6$		
à anches.......	mi_2	la_2	$ré_3$	sol_3	la_3	si_3	mi_4

et les voyelles naturelles OU, O, A, É, I, émises sur les notes comprises dans les registres d'un soprano et d'un baryton. Les tracés de ces différents sons avaient été pris par les flammes manométriques et par la méthode graphique.

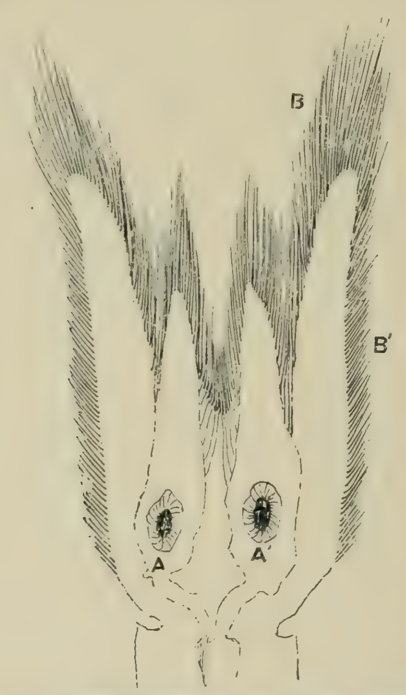


Fig. 87. — Queue de *Mysis*. (Grossiss. : 30 diam.)
A, A', otocystes avec un gros otolithe ; B, B', soies de différentes longueurs.

L'énergie du son des diapasons à anche était environ de $0^{kgm},00075$; celui des voyelles naturelles, de $0^{kgm},070$.

Les expériences ont été répétées un grand nombre de fois, sur des *Mysis vulgaris* et des *Mysis chamœlon*, et jamais l'on n'a pu observer ce qu'avait remarqué Hensen, les cils longs vibrant pour des notes graves, les cils courts pour des notes aiguës.

Cependant l'énergie de ces sons était bien suffisante, puisque la voyelle synthétique I sur la note fa_6, émise avec une énergie de 0,0000003, est entendue par une oreille placée à 125 mètres de distance; de même OU, sur la note ut_3, et émise avec une énergie de $0^{kgm},015$, est entendue à 125 mètres[1].

[1] *Comptes rendus*, 9 janvier 1905.

Les sons du cor employés par Hensen avaient certainement une énergie beaucoup plus grande.

Malheureusement, je n'avais à ma disposition que deux trompettes à anches libres, donnant les notes *ré*$_4$ et *ut*$_5$.

L'énergie du son émis par ces deux instruments était environ 200 fois plus grande ($0^{kgm},140$) que celui des diapasons à anche. Avec ces sources sonores très intenses, j'ai constaté, en effet, que certains groupes de cils étaient parfois animés de mouvements vibratoires, mais je n'ai pas pu remarquer d'action élective pour certains cils suivant que l'on employait la note *ré*$_4$ ou la note *ut*$_5$.

De plus, il me semble qu'il y avait des causes d'erreur dues à l'ébranlement du liquide en totalité.

Malheureusement, mon installation pour ces derniers sons musicaux était trop primitive.

Pour le moment, la seule conclusion à tirer de ces expériences est la suivante :

Les sons des diapasons et ceux des voyelles naturelles, émis avec une énergie capable d'impressionner par l'air extérieur une oreille placée à 125 mètres de distance, n'ont pas pu faire entrer en vibration les cils des *Mysis*, ces vibrations étant transmises à 1 centimètre cube d'eau par l'intermédiaire d'une membrane vibrante et d'une colonne d'air de $0^m,04$ de longueur.

b) Pour d'autres auteurs, tous les filets nerveux seraient également impressionnés, et ce seraient des centres nerveux différents situés dans le cerveau qui réagiraient différemment.

Je vais chercher si cette deuxième hypothèse concorde avec les faits d'ordre anatomique et pathologique que nous connaissons.

1. *Faits d'ordre anatomique.* — L'oreille interne ne se compose pas seulement, comme on l'enseigne dans beaucoup d'ouvrages classiques, du vestibule, des canaux semi-circulaires et du limaçon avec les terminaisons nerveuses qui s'y trouvent ; il faut comprendre dans ce terme *oreille interne* les terminaisons réelles dans le cerveau des deux branches vestibulaires qui constituent le nerf auditif ; la racine postérieure ou nerf cochléaire, et le nerf vestibulaire qui correspond à la racine antérieure ; il se termine dans le noyau de Deiters et dans le noyau vestibulaire. La racine postérieure ou nerf cochléaire est beaucoup plus complexe, elle aboutit par diverses branches

à huit noyaux différents. Bechterew a divisé ces différents rameaux en voies auditives centripètes de premier et de second ordre qui font communiquer, soit entre eux, soit directement avec le limaçon, les différents centres ; de plus, il existe des voies récurrentes ou centrifuges qui font communiquer entre eux les différents noyaux cellulaires ; le schéma (*fig.* 88) montre l'importance énorme de ces différents centres cérébraux par rapport aux terminaisons nerveuses du limaçon.

2. *Faits d'ordre pathologique.* — Comme il était impossible de faire des expériences directes, j'ai réuni, depuis dix ans, un grand nombre d'observations (plus de 2000), sur des mesures d'acuités auditives.

On peut maintenant, avec les appareils que j'ai présentés déterminer exactement la hauteur, le timbre et l'intensité des sons que l'oreille peut entendre.

Je vais résumer, en quelques lignes, les résultats obtenus :

a) On rencontre souvent des sujets qui entendent les *bruits* les plus faibles, mais qui sont complètement sourds pour la musique et pour la parole.

b) On en rencontre d'autres qui entendent les bruits, la musique et la parole, en tant que vibration musicale, produite par le timbre de chaque voix, mais qui ne la comprennent pas.

Ces deux sortes de surdité sont provoquées le plus souvent par des méningites diagnostiquées avec les méthodes précises dont on dispose aujourd'hui dans les laboratoires.

c) Il existe d'autres sujets, généralement atteints de maladie spéciale, chez lesquels la surdité a évolué rapidement, de manière à devenir absolue en 24 heures ; chez un malade par exemple, la surdité a évolué de la façon suivante : la surdité commence à 11 heures du soir par la disparition de l'audition de certains instruments d'un orchestre, les violons ; 2 heures après, aucun son musical n'est entendu, mais la parole est très bien comprise ; 8 heures après, la surdité est complète pour toutes les vibrations, bruits, musique, parole.

d) Lorsqu'on développe l'acuité auditive par des moyens appropriés, les phénomènes inverses se produisent : toutes les vibrations ne recommencent pas à être entendues en même temps, et l'amélioration se produit comme s'il s'agissait de différentes oreilles qui ne sont pas sensibles aux mêmes sons.

Explication. — On peut expliquer ces phénomènes de la façon suivante : lorsqu'une vibration de nature quelconque se produit à l'extérieur, toutes les terminaisons nerveuses sont

impressionnées par l'intermédiaire de la périlymphe et de l'endolymphe et, suivant qu'il s'agit d'un bruit, d'une vibration musicale ou de la parole, ce sont des centres nerveux de la première, deuxième ou troisième étape (*fig.* 88) qui sont impressionnés.

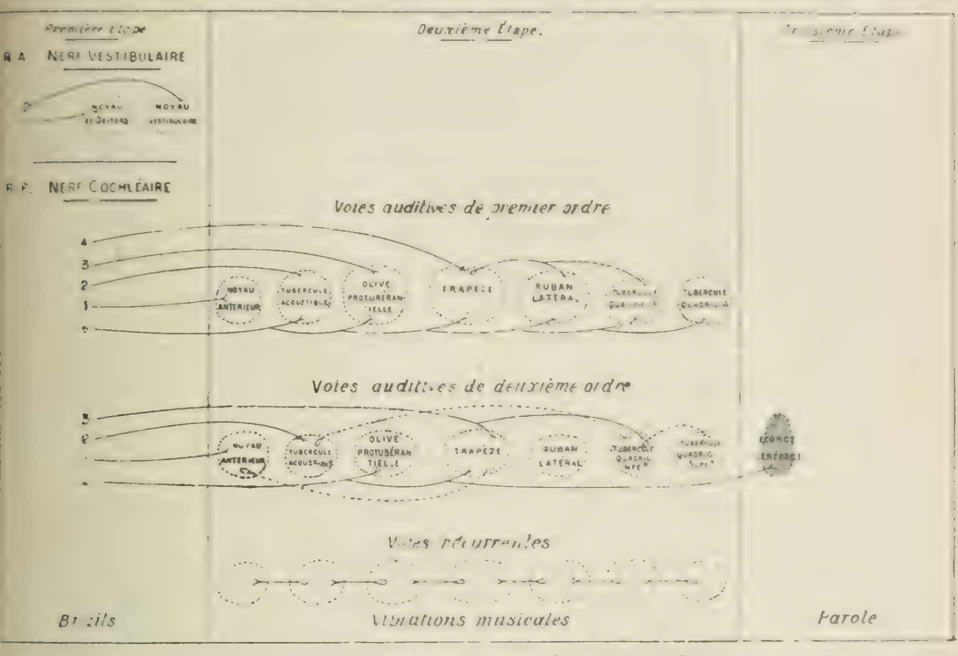


Fig. 88. — Schéma des voies auditives centrales.

Si le centre nerveux de la première étape existe seul, le sujet n'entend que les bruits, même les plus faibles ; c'est ce qui se présente à l'état normal chez les animaux inférieurs.

De même si le centre de la troisième étape est seul à être lésé, le sujet entendra toutes les vibrations, mais il ne comprendra pas la parole.

Le degré de perfection de l'audition est donc lié, non pas tant à l'organe oreille qu'aux centres auditifs et par conséquent au cerveau.

Enfin les voies récurrentes expliquent le retard dans l'audition qu'on observe chez certains sourds-muets. Supposons, en effet, que le corps trapézoïde doive réagir et que les conducteurs

centripètes allant à ce centre n'existent plus, la perception du son peut cependant se faire par l'intermédiaire des voies auditives de premier ordre allant aux tubercules quadrijumeaux et des voies récurrentes qui reviennent des tubercules au ruban latéral et de là au corps trapézoïde (*fig.* 88) ; mais alors on comprend qu'il y aura retard dans la perception du son.

Résumé. — La deuxième théorie des centres auditifs est conforme à nos connaissances anatomiques et pathologiques les plus récentes. De plus, elle explique facilement les phénomènes que nous observons. Pour que cette hypothèse devienne une certitude, il faudrait avoir un grand nombre d'autopsies montrant toujours dans le même centre la lésion correspondant au genre de surdité observée ; ces recherches exigeront beaucoup de temps, mais elles ne semblent pas impossibles.

§ III. — APPLICATIONS

1° On naît musicien de génie comme on naît mathématicien de génie, c'est-à-dire que certains sujets ont des centres auditifs mieux ou plus développés, mais on ne devient jamais un grand musicien, quels que soient les efforts développés. Autrement dit, c'est en naissant qu'on a l'oreille musicale, et par l'oreille musicale il faut entendre les centres auditifs ;

2° Une oreille juste est celle de celui qui est capable de répéter exactement avec le même nombre de vibrations une note entendue.

On chante faux parce que l'on entend faux ; et l'on entend faux généralement par suite d'une lésion de l'oreille moyenne (otite scléreuse) ou des centres auditifs (auto-intoxication).

On peut entendre faux d'une oreille et juste de l'autre.

Quand la cause disparaît, l'oreille fausse entend juste de nouveau.

CHAPITRE IX

VOIX CHANTÉE

---

§ I. — **Principes.**

§ II. — **Vérification pratique des principes précédents.**

Photographie de la voix d'un chanteur.

Résultats.

1. L'artiste chante en mesure. — 2. Il chante juste.
3. Sa voix est bonne. — 4. Sa capacité vitale est suffisante.
5. Il a de la diction. — 6. Il a telle tessiture.
7. Il a des trous. — 8. La note est bien attaquée.
9. Il donne un coup de glotte.
10. La voix est énergique. — 11. La voix porte.
12. La voix est faible.

CHAPITRE IX

VOIX CHANTÉE

---

§ I. — PRINCIPES

1° A chaque sujet correspond un larynx déterminé : aux cordes vocales longues et larges correspondent les voix graves (tessitures de basse, contralto), aux cordes vocales courtes et étroites les voix aiguës (tessitures de ténor, soprano). Une voix bien posée est celle qui chante dans sa tessiture;

2° Une voyelle étant une vibration aéro-laryngienne intermittente renforcée ou transformée par la bouche :

a) Une voyelle n'est parfaite que si elle est produite en même temps par une bonne émission laryngienne et une bonne diction buccale;

b) A chaque voyelle laryngienne chantée sur une certaine note correspond une forme et une seule de cavité buccale pour un sujet déterminé;

c) On peut chanter n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note comprise dans sa tessiture; mais il est vrai que certaines voyelles se chantent plus facilement sur certaines notes;

3° L'articulation intervient quand on appuie les voyelles sur des consonnes ; de même qu'on a le droit d'être mal bâti, on a le droit d'avoir une voix laide, mais on n'a pas le droit d'avoir une mauvaise articulation ou une mauvaise diction ;

4° Il y a une voix aéro-laryngienne. Il n'y a ni voix de poi-

trine, ni voix de tête. La voix doit être homogène, et le passage des notes graves aux notes aiguës ne doit pas être marqué; les registres sont des parties de la tessiture, et l'on peut définir un registre l'ensemble des notes produites par le même mécanisme;

5° Le travail développé pendant l'émission de la voix chantée ou parlée est très faible; donc, tout chanteur ou tout orateur qui se fatigue est un chanteur ou un orateur qui chante mal, qui parle mal, ou qui est malade;

6° Une voix est forte quand elle est bien émise et que la diction est bonne. La voix est entendue de tous les auditeurs, quand le chanteur ou l'orateur commence à entendre lui-même le son de résonance de la salle;

7° On a une voix juste quand on a une oreille juste.

On a une voix belle quand on a de belles cordes vocales.

On est un artiste quand on a dans le cerveau des centres auditifs bien développés.

§ II. — VÉRIFICATION PRATIQUE DES PRINCIPES PRÉCÉDENTS

Quand on parle devant un phonographe, le style, que porte la plaque de verre, inscrit en creux toutes les vibrations sur un cylindre de cire.

L'appareil répète assez mal ce que vous avez dit, parce qu'il ajoute certaines vibrations et en supprime d'autres.

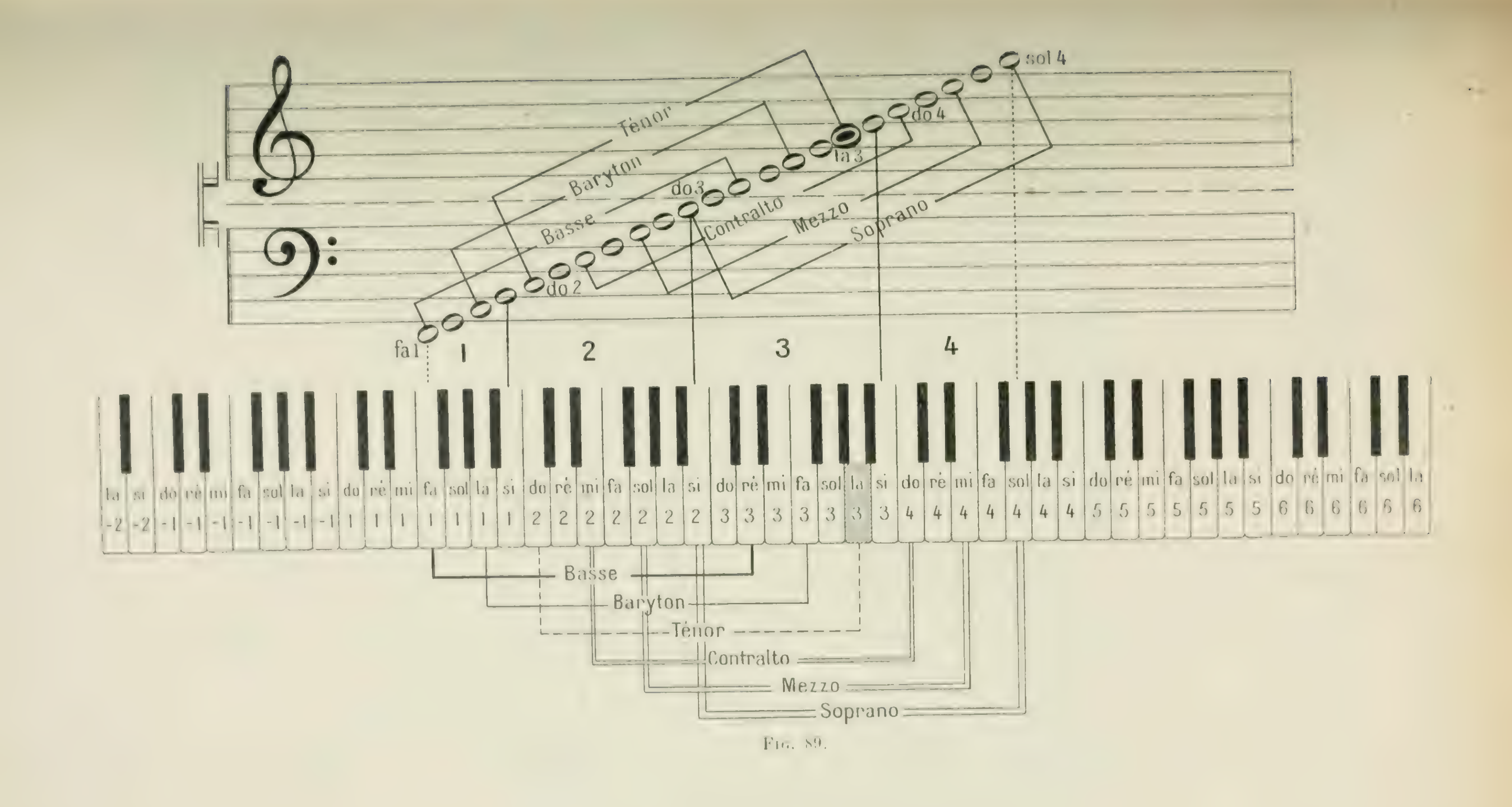
Aussi, lorsque les professeurs de chant ont voulu se servir du phonographe pour faire entendre à leurs élèves les fautes qu'ils commettaient, ceux-ci n'ont rien voulu savoir ; ils ont soutenu que c'était l'instrument qui chantait mal ; quant à leur voix, elle était parfaite.

Il fallait donc chercher un moyen, non plus de faire entendre, mais de *faire voir* à l'artiste ses qualités et ses défauts.

Le phonographe se prête mal à cet examen oculaire, car les tracés sont trop petits.

Le problème à résoudre était donc le suivant : trouver un instrument pratique permettant à n'importe qui d'inscrire directement, en une écriture visible à l'œil nu, les vibrations de la parole, de manière à faire voir immédiatement à l'artiste le tracé de sa voix.

Le dispositif employé est très simple : une membrane mince en caoutchouc, de la largeur d'une pièce de 5 francs, est placée, comme la lame vibrante du phonographe au fond d'une embouchure qui ne fait subir à la voix aucune transformation. Tous les mouvements de la membrane sont transmis à un petit miroir plan qui pèse trois fois moins que la chaîne des osselets de l'oreille (4 centigrammes au lieu de 12). Si l'on fait tomber sur le miroir, à travers une lentille, un mince rayon lumineux provenant d'une lampe électrique, le rayon vibrera comme le miroir, et après réflexion il viendra faire son image sur une plaque de verre dépoli ; les déplacements du miroir, qui ne sont que de quelques vingtièmes de milli-



sol 4
Ténor
Baryton
Basse
do 4
la 3
do 3
Contralto
Mezzo
Soprano
do 2
fa 1
1
2
3
4
la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la si do ré mi fa sol la
-2 -2 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6
Basse
Baryton
Ténor
Contralto
Mezzo
Soprano

Fig. 89.

mètre, donneront alors sur l'écran une image sinueuse ayant jusqu'à 1 centimètre de hauteur : c'est cette image qu'il faut photographier. Pour cela, on remplace le verre dépoli par une bande de papier photographique de 25 mètres de longueur, qui se déplace d'un mouvement continu ; après avoir été impressionné, le papier passe dans deux bains de développement, puis dans un bain de fixage, et il sort à la lumière portant inscrites toutes les vibrations de la voix. La photographie commence à paraître au dehors, développée et fixée, à peine un quart de minute après que l'on a commencé à chanter. Pour économiser le papier, un dispositif spécial permet d'inscrire les vibrations sur des lignes parallèles allant de gauche à droite ; chaque ligne dure à volonté d'une demi-seconde à un huitième de seconde. Dans toutes les figures ci-jointes, la ligne dure un quart de seconde.

L'appareil de photographie de la voix est donc très simple, et n'importe qui peut le faire manœuvrer.

Qu'est-ce qu'on lit maintenant sur les tracés ?

Supposons que l'artiste ait chanté une gamme sur A. On voit immédiatement et l'on fait voir au chanteur les points suivants :

1° S'il chante en mesure, car chaque note doit avoir la même durée, et chaque repos, représenté par la ligne droite, la même longueur ;

2° S'il chante juste, il suffit de compter le nombre de vibrations par ligne et de multiplier par 4 si chaque ligne a duré un quart de seconde ;

3° Si sa voix est bonne, car les vibrations doivent avoir une amplitude constante, être régulières, sans tracés en fuseaux, qui indiquent que la voix est chevrotante (*fig.* 90) ;

4° S'il a une capacité vitale insuffisante, car, si le chanteur est obligé de respirer trop souvent, on retrouve, marqués par des lignes droites, des moments de repos trop longs et trop fréquents ;

5° S'il a de la diction : en effet, si la diction est mauvaise, on n'a pas le groupement caractéristique de la voyelle qui a été chantée (*fig.* 91 et 92) ;

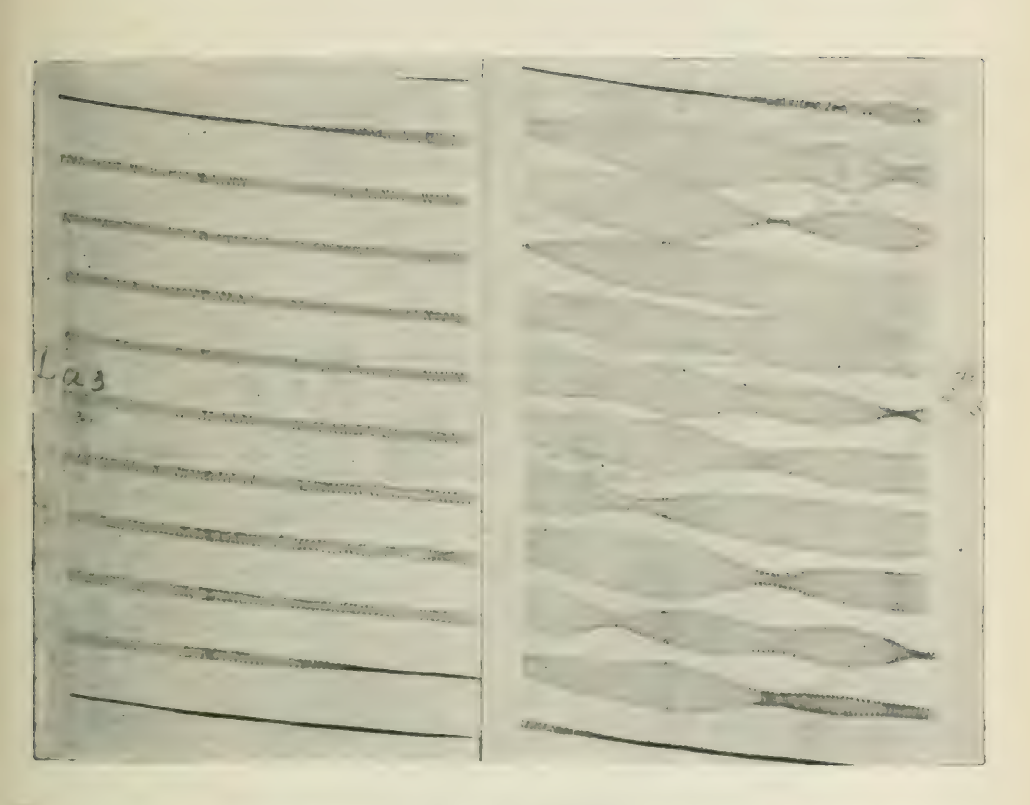


Fig. 90. — Vraie grandeur.

Passage brusque de la voix de poitrine (la_3) à la voix de tête (si_3) : la note la_3 est bonne, quoiqu'un peu tremblée vers la fin : la note si_3 est très mauvaise, elle est mal attaquée et chevrotante, mais son intensité est plus grande que celle de la_3.

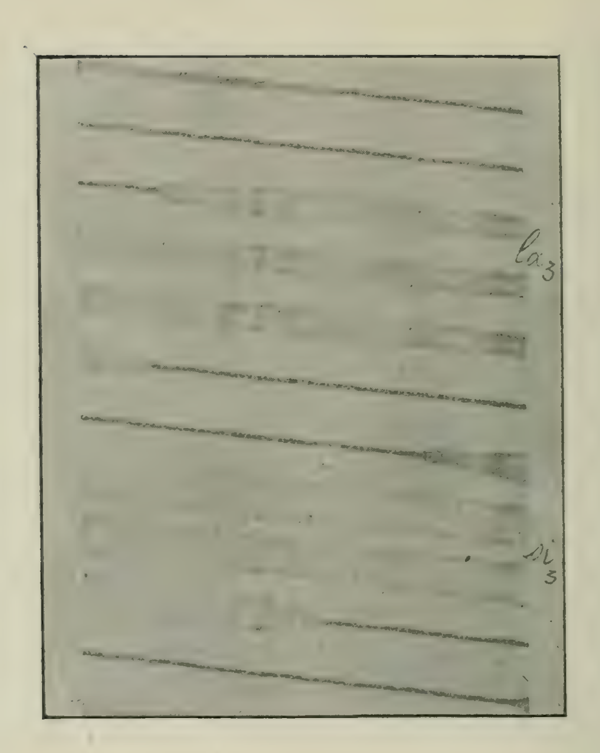


Fig. 91. — $\left(\frac{1}{4}\right.$ de seconde.$\left.\right)$ Gamme sur A par une voix de soprano juste, en mesure, sans diction.

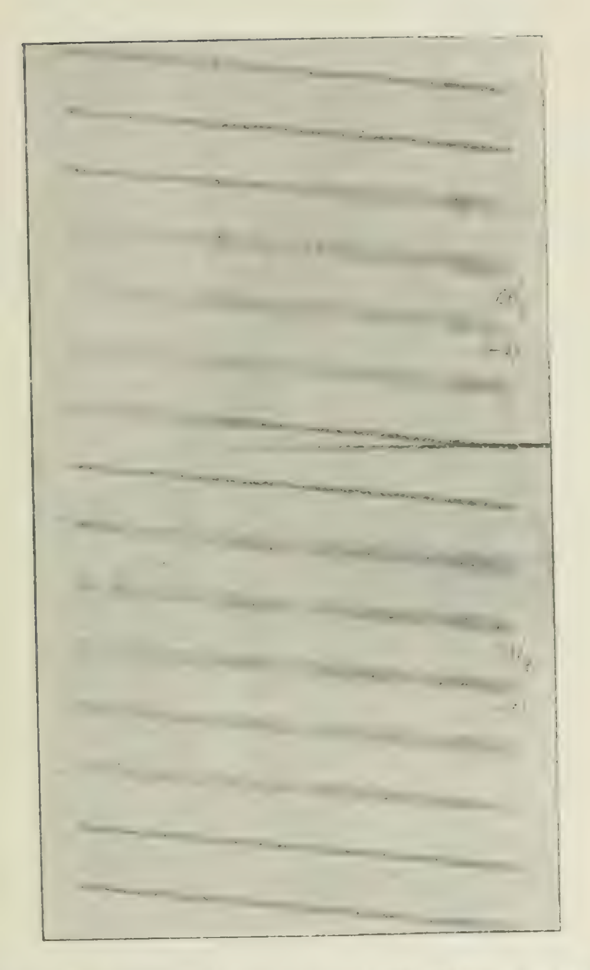


FIG. 92. — ($\frac{1}{4}$ de seconde.) Gamme sur A par une voix de baryton fausse, non en mesure, avec diction.

6° Quelle est la tessiture de la voix ? on la reconnaît en faisant chanter une ou plusieurs gammes et en comptant de quelle note on est parti et à quelle note on est monté ; on peut dire si l'artiste est basse, baryton ou ténor ; contralto, mezzo-soprano ou soprano ;

7° S'il y a des trous dans la voix, alors les notes correspondantes sont ou plus courtes ou tremblées, ou sans diction ou même nulles ;

8° Si une note est bien attaquée, alors les vibrations commencent doucement puis augmentent peu à peu d'amplitude ;

9° S'il y a un coup de glotte, les vibrations commencent brusquement et l'amplitude diminue pour augmenter ensuite peu à peu (*fig.* 94, la_3 si_3 à gauche) ;

10° Si la voix est énergique, alors les tracés ont une grande hauteur ;

11° Si la voix porte, les tracés sont très nets et chaque voyelle a sa courbe caractéristique très régulière ;

13° Si la voix est faible, les tracés sont à peine marqués (*fig.* 93, tracés 1 et 2).

En un mot, on peut lire sur ces photographies toutes les qualités et tous les défauts de la voix.



FIG. 93. — Vraie grandeur.
La même note *la*$_3$ chantée par un larynx atteint de nodules des chanteurs.
le tracé a été pris à diverses époques du traitement

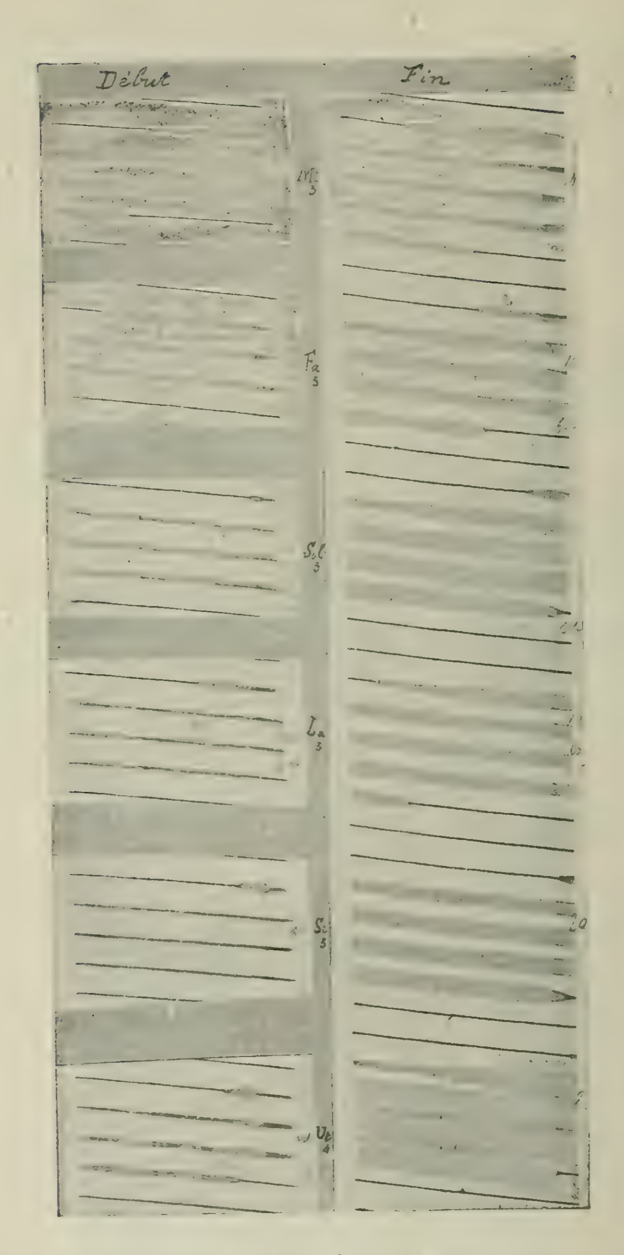


FIG. 94. — Échelle 1/2.
Mêmes notes émises à deux époques différentes par une même artiste, mal chantées à gauche, bien chantées à droite.

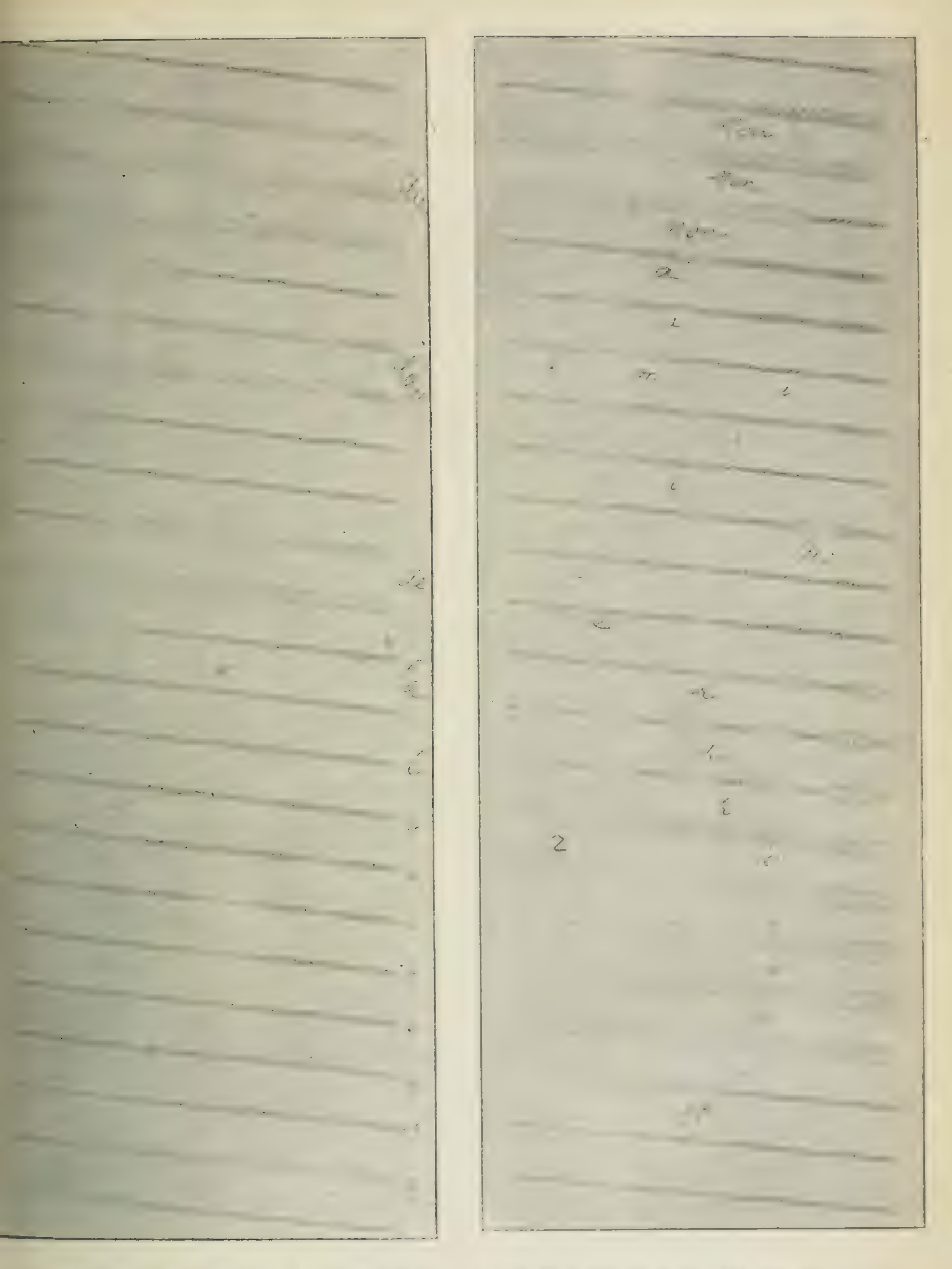


FIG. 95. — ($\frac{1}{4}$ de seconde.) Vibrations dissociées et non transformées : chant avec paroles ; on retrouve le tracé des voyelles et des consonnes, avec leur note d'émission.

CHAPITRE X

VOIX PARLÉE

§ I. — **Principes.**

§ II. — **Consonnes.**

§ III. — **Tracés de la voix parlée.**

§ IV. — **Conseils pratiques.**

§ V. — **Travaux à faire.**

CHAPITRE X

VOIX PARLÉE

I. — PRINCIPES

1° On *chante avec son larynx*, c'est-à-dire qu'il est impossible de chanter quand le larynx n'est pas en bon état.

2° On *chuchote avec sa bouche*, ce qui veut dire que dans la voix chuchotée, la bouche a une importance prépondérante.

3° On *parle avec son larynx et avec sa bouche*. En effet, dans le chapitre cinquième, nous disions : une voyelle est une vibration aéro-laryngienne intermittente que la bouche peut, ou transformer, ou renforcer; la voyelle n'a donc réellement un tracé parfait que si la cavité buccale a pris exactement la forme qu'elle doit avoir : à chaque note et à chaque voyelle correspond une forme de bouche.

De plus, nous allons voir que, dans la formation des consonnes, les résonnateurs supra-laryngiens ont une influence prépondérante.

§ II. — LES CONSONNES

Classification.

Pour établir une classification des consonnes, j'ai opéré de la façon suivante :

J'ai pris la photographie de chacune d'elles, en ayant soin de faire dérouler le papier assez lentement (chaque ligne dure $\frac{1}{3}$ de seconde) de manière à ne pas dissocier les vibrations ; on obtenait ainsi la forme générale de la consonne. Il devenait alors facile de réunir ensemble les tracés qui avaient une certaine ressemblance.

	Consonnes		LABIALES	LINGUALES [1]	GUTTURALES
A L'air vibrant sort par la bouche seule	continues.	molles. dures .	V F	Z S	J CH
	explosives.	molles. dures .	B P	D T	G K
	vibrantes.		R	L R	R
B L'air vibrant sort par la bouche et le nez.	nasales............		M	N	GN

La classification contenue dans ce tableau est empruntée à Beaunis ; c'est celle qui correspond le mieux aux tracés.

(1) Pour certains auteurs, les linguales s'appellent dentales ou dentilinguales et les gutturales s'appellent palatales.

Formation. — Tandis que le larynx seul suffit pour former la voyelle, la bouche est indispensable pour produire les consonnes. En effet, lorsque celle-ci est annulée, la production d'une consonne est impossible ([1]).

Nous pouvons donc dire d'une façon générale que les consonnes se forment dans les résonnateurs supra-laryngiens (*fig.* 96).

Deux cas se présentent : Le courant d'air des poumons peut sortir : (A) *par la bouche* (1, 2, 3) ou, (B) par *la bouche et le nez* (4) suivant la position du voile du palais (*fig.* 96).

A. *Le courant d'air sort par la bouche seule.* — Il peut être transformé à trois niveaux différents, suivant la position que prendra la langue :

1° Au niveau du voile du palais et de la base de la langue : *consonnes gutturales* (*fig.* 97) ;

2° Au niveau de la langue et du palais : *consonnes linguales* (*fig.* 98) ;

3° Au niveau des lèvres : *consonnes labiales* (*fig.* 99).

([1]) Mes travaux sur les consonnes ne sont pas encore terminés et je ne donne ici qu'un léger aperçu de mes recherches.

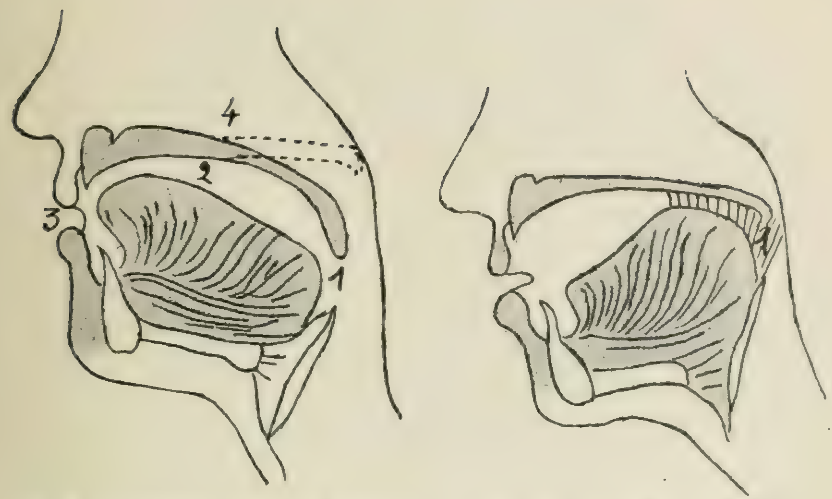


Fig. 96. — Différents points de la bouche où se forment les consonnes.

Fig. 97. — Consonne gutturale.



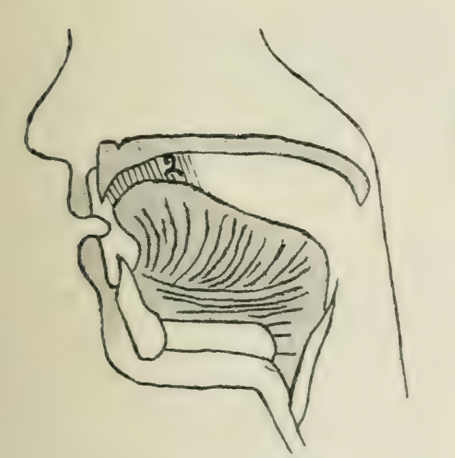


Fig. 98. — Consonne linguale.

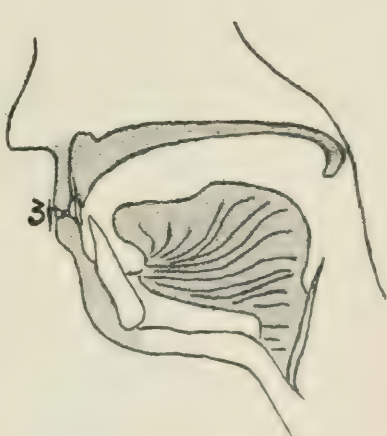


Fig. 99. — Consonne labiale.

De plus le courant d'air peut être *continu* ou *instantané* (explosif) : Dans le premier cas, la vibration commence doucement et s'arrête plus ou moins brusquement (tracé F, *fig.* 100).

Dans le second cas, au contraire, la vibration prend subitement son maximum d'amplitude et s'éteint doucement : *consonnes explosives* (tracé T, *fig.* 100) ; les consonnes continues auront donc des tracés absolument différents de ceux des consonnes explosives.

Si nous supposons maintenant que les parties mobiles des résonnateurs ne se contentent pas de transformer le courant d'air par des rétrécissements plus ou moins grands et des ouvertures plus ou moins brusques, mais se mettent à vibrer pour leur propre compte, l'onde sonore sera modifiée, et comme cette modification peut se produire à différents niveaux, une même consonne vibrante pourra présenter des tracés très différents : c'est ainsi que le R pourra être guttural, lingual ou labial.

Dans la figure 102 chaque ligne dure $\frac{1}{3}$ de seconde, on a la forme générale de la consonne : dans la figure 103, on a dissocié les vibrations, en faisant durer chaque ligne $\frac{1}{4,8}$ de seconde.



Fig. 100. — Consonne continue.

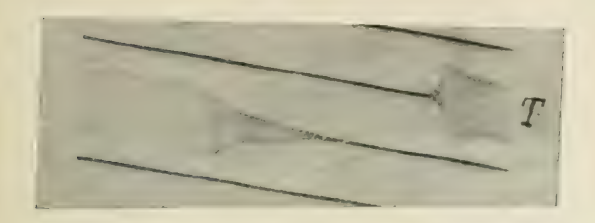


Fig. 101. — Consonne instantanée (explosive).

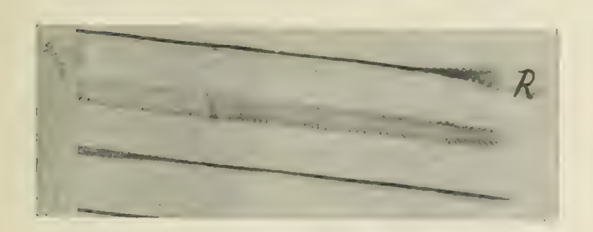


Fig. 102. — R lingual.

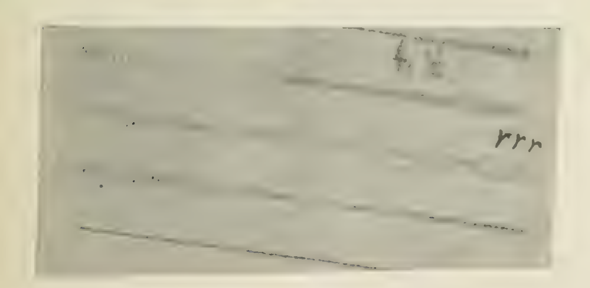


Fig. 103. — R guttural.

B. *Le courant d'air sort par la bouche et le nez.* — Dans les trois cas précédents, l'air sortait par la bouche seule, on peut supposer maintenant que le voile du palais s'abaisse et que l'air sort à la fois par la bouche et par le nez (*fig.* 96). Nous aurons alors des tracés nouveaux : ce sont les *consonnes nasales* qui, elles aussi, peuvent être *gutturales*, *linguales* ou *labiales* (*fig.* 104, 105, 106).

Ces diverses combinaisons peuvent se faire de toutes sortes de façons, et l'on voit dès maintenant qu'il doit exister des quantités de consonnes différentes.

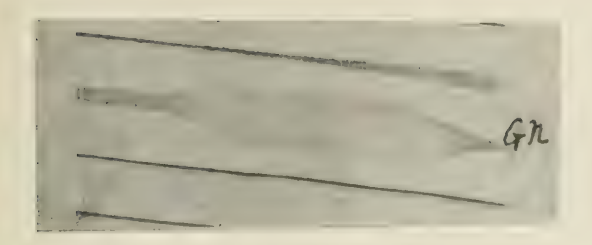


Fig. 104. — Gutturale.

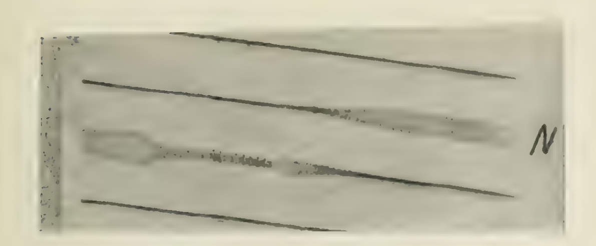


Fig. 105. — Linguale.

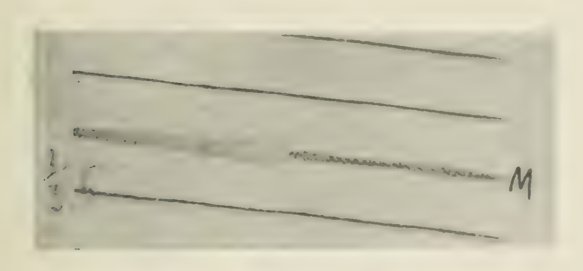


Fig. 106. — Labiale.
Consonnes nasales.

On comprend que certaines consonnes d'une même classe puissent facilement être confondues par l'oreille (ex. P et B) : ceci se présente lorsque leurs tracés se ressemblent ; les figures 107 et 108 montrent bien ce qui se passe : une oreille peu habituée n'arrivera pas à entendre la différence, tandis que l'œil voit plus facilement la distinction entre les deux tracés.

On s'explique alors comment, par exemple, le mot « Bonjour » peut facilement devenir « Ponchour » dans une bouche étrangère.

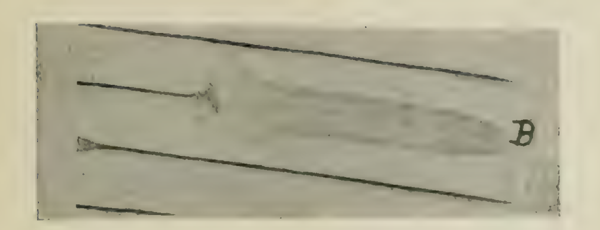


Fig. 107.

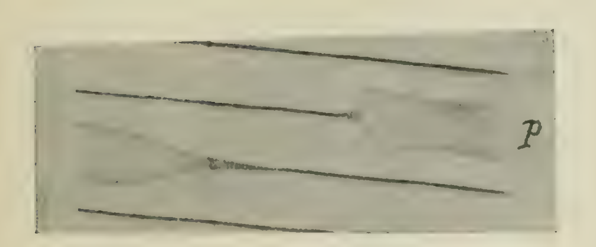


Fig. 108.

§ III. — ÉTUDE DE LA VOIX PARLÉE

Pour étudier la voix parlée, c'est-à-dire l'union des voyelles et des consonnes dans le langage ordinaire, on peut employer deux procédés.

1° *Cinématographier la bouche* parlant lentement et articulant bien.

Les figures 109, 110, 111 permettent de suivre le commencement de la phrase : « Cinq ou six officiers gascons passèrent un... ». Un sourd-muet pourrait facilement lire ces mots sur les lèvres de l'artiste.

Ces chronophotographies ont été faites en 1902, avec l'aide de M. Andréyor, du Gymnase, à la station physiologique du Collège de France, dans le laboratoire de Marey.



Fig. 109.



Fig. 110.



Fig. 111.

2° *Photographier à voix parlée.* — On emploie le procédé que nous avons décrit plus haut : Sur les épreuves que nous reproduisons, un professeur de diction reconnaîtra de suite :

1° La durée et la place de chaque voyelle ;

2° La note sur laquelle elle est émise ;

3° Les parties constitutives de chaque syllabe, voyelle et consonne.

Je me rappellerai toujours le désespoir d'un professeur qui ne pouvait pas faire prononcer correctement le mot « trottoir » à une jeune Anglaise. Trottoir devenait dans la bouche anglo-saxonne : tottououaaa. Les *r* avaient disparu et la dernière syllabe se prolongeait en un *ouaaa* qui n'en finissait plus ; l'élève n'entendait pas la différence entre sa prononciation et celle du professeur ; mais quand elle vit les deux photographies : celle de la prononciation correcte et la sienne, elle comprit (*fig.* 113 et 114).

Les figures ci-jointes font voir immédiatement les qualités et les défauts de la diction.

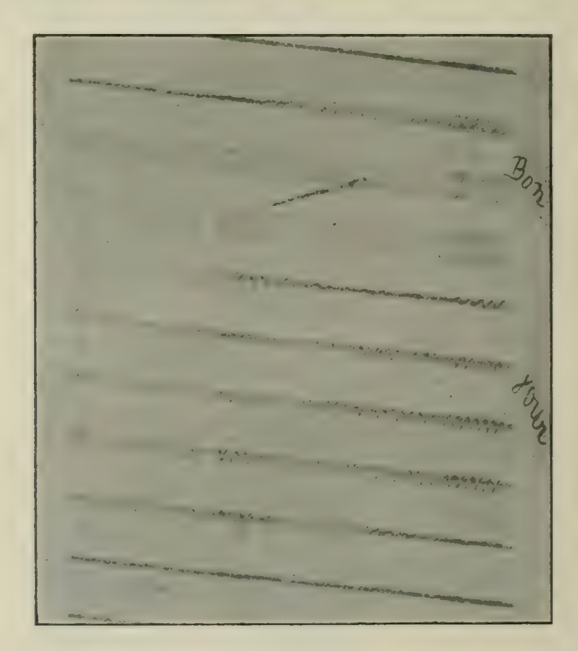


Fig. 112.

Bonjour est bien prononcé parce que chaque partie des syllabes est bien marquée, et que l'*r* existe à la fin ou avec un seul renflement sans être roulé comme dans la figure 90.

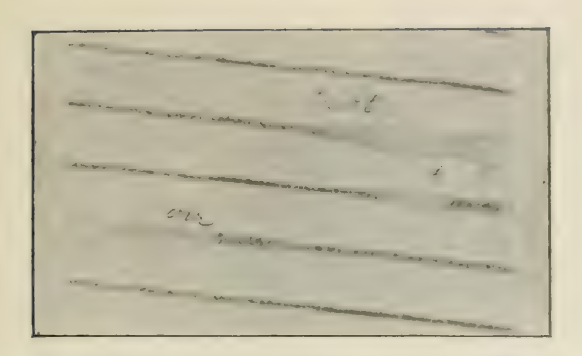


Fig. 113. — $\left(\frac{1}{3,4}\right.$ de seconde.$\left.\right)$ Trottoir prononcé par un Français.

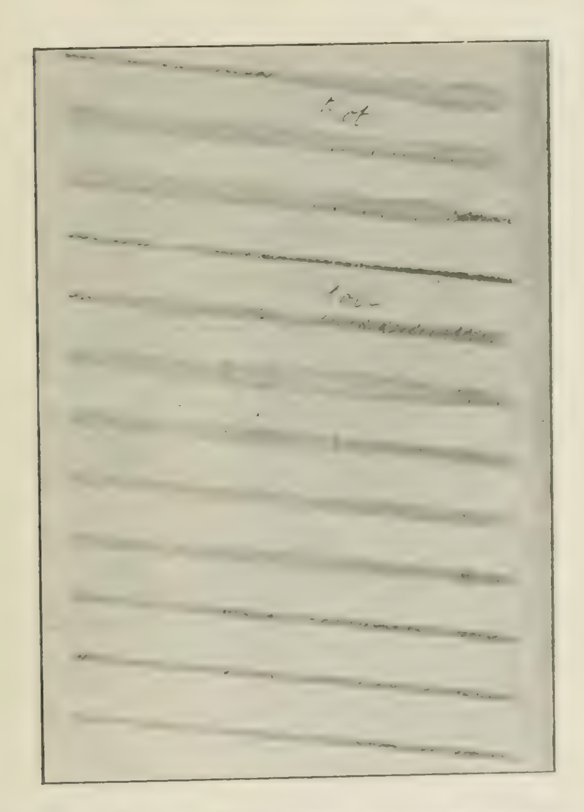


Fig. 114. — $\left(\frac{1}{3,4}\right.$ de seconde.$\left.\right)$ Trottoir prononcé par un Anglais.

§ IV. — CONSEILS PRATIQUES A UN ORATEUR

Conseils d'ordre physique :

1° Commencer à parler sur des notes graves pour forcer les auditeurs à écouter, l'oreille étant plus sensible aux notes aiguës qu'aux notes graves ;

2° Elever ensuite la hauteur de la voix pour réveiller l'attention ; de plus en parlant sur les notes plus aiguës, on se fatigue moins ;

3° Parler très lentement : on parle généralement toujours trop vite ; il faut que l'auditeur ait le temps d'entendre et de comprendre.

4° Parler la tête droite en regardant les auditeurs pour que l'onde sonore aille directement à leurs oreilles ;

5° Avoir des vêtements ne causant aucune gêne.

6° Autant que possible ne pas parler assis et lire le moins possible ;

7° Si l'on doit lire, s'arranger de façon que les ondes sonores passent par-dessus le livre ;

8° Parler lorsque la digestion est terminée ;

9° Si la gorge est sèche, sucer, avant de commencer, un bonbon quelconque qui excite la sécrétion salivaire ; s'abstenir autant que possible de cocaïne dont l'effet anesthésiant est suivi d'un effet congestif.

§ V. — TRAVAUX A FAIRE

Étude complète des consonnes.

Méthode de diction par la photographie de la voix parlée.

CHAPITRE XI

RÉSUMÉ

RÉSUMÉ

I

Tout élève de chant ou de diction doit avoir des poumons, un larynx, un pharynx, un nez et une bouche en bon état.

II

Avant d'apprendre à chanter, il faut apprendre à respirer (exercices respiratoires).

III

Chaque sujet doit avoir à sa disposition un certain volume d'air V qui dépend de son sexe, de son âge, de sa taille et de son poids ; cet air s'échappe des poumons sous une pression H. Le produit VH mesure l'énergie de la voix.

IV

Toutes les parties des poumons doivent fonctionner, respiration thoracique supérieure, thoracique inférieure, diaphragmatique (abdominale).

V

A chaque sujet correspond un larynx déterminé : aux

cordes vocales longues et larges correspondent les voix graves (tessitures de basse et de contralto); aux cordes vocales courtes et étroites les voix aiguës (tessitures de ténor et de soprano). Une voix bien posée est celle qui chante dans sa tessiture.

VI

Une voyelle étant une vibration aéro-laryngienne intermittente renforcée ou transformée par la bouche :

a) Une voyelle n'est parfaite que si elle est produite en même temps par une bonne émission laryngienne et une bonne diction buccale;

b) A chaque voyelle laryngienne chantée sur une certaine note correspond une forme, et une seule, de cavité buccale pour un sujet déterminé;

c) On peut chanter n'importe quelle voyelle sur n'importe quelle note comprise dans sa tessiture; mais il est vrai que certaines voyelles se chantent plus facilement sur certaines notes.

VII

L'articulation intervient quand on appuie les voyelles sur les consonnes; de même qu'on a le droit d'être mal bâti, on a le droit d'avoir une voix laide, mais on n'a pas le droit d'avoir une mauvaise articulation ou une mauvaise diction.

VIII

Il y a une voix aéro-laryngienne. Il n'y a ni voix de poitrine, ni voix de tête. La voix doit être homogène,

et le passage des notes graves aux notes aiguës ne doit pas être marqué ; les registres sont des parties de la tessiture, et l'on peut définir un registre l'ensemble des notes produites par le même mécanisme.

IX

Le travail développé pendant l'émission de la voix chantée ou parlée est très faible ; donc, tout chanteur ou tout orateur qui se fatigue est un chanteur ou un orateur qui chante mal, qui parle mal, ou qui est malade.

X

Une voix porte quand elle est bien émise et que la diction est bonne. La voix est entendue de tous les auditeurs, quand le chanteur ou l'orateur commence à entendre lui-même le son de résonance de la salle.

XI

On a une voix juste quand on a une oreille juste.

On a une voix belle, quand on a de belles cordes vocales.

On est un artiste, quand on a dans le cerveau des centres auditifs bien développés.

XII

Tels sont les principes essentiels de la science du chant.

La science du chant constitue la fondation de l'édifice ; l'art du chant constitue l'édifice lui-même.

La science et l'art du chant doivent s'entr'aider sans se confondre.

PRINCIPAUX OUVRAGES DU MÊME AUTEUR

Anatomie descriptive du sympathique thoracique des oiseaux (Médaille de la Faculté de Paris). In-8° de 68 p., avec fig. (David, éd.). Paris, 1887.

Anatomie et histologie du sympathique des oiseaux. In-8° de 72 p., avec fig. et pl. en couleurs (Masson, éd.). Paris, 1889.

Note sur un nouveau sphygmographe (récompensé par la Faculté de médecine), 1889.

Traitement par la résorcine en solution concentrée de l'hypertrophie du tissu lymphoïde pharyngien, 1892 (Masson, éd.).

Etude des stéthoscopes.

Traitement de la diphtérie. In-8° de 40 p., 1894.

Traitement médical des tumeurs adénoïdes. In-8° de 35 p., avec fig. Paris, 1895 (Masson, éd.) (*Académie de Médecine*).

Les divers traitements de l'hypertrophie des amygdales. Paris, 1895 (Masson, éd.).

Serre-nœud électrique automatique et pince à forcipressure pour la région amygdalienne (récompensé par la Faculté de médecine). Paris, 1896 (Masson, éd.).

Note sur un nouveau cornet acoustique servant en même temps de masseur du tympan, 1897 (Masson, éd.).

Etude des cornets acoustiques par la photographie des flammes de Kœnig. 11 planches (récompensé par la Faculté et par l'Académie de Médecine). Paris, 1897 (Masson, éd.).

Contribution à l'étude des voyelles par la photographie (37 p.).

Comment parlent les phonographes (*Cosmos*, 1898) (*Vie scientifique*).

La voix des sourds-muets (*Académie de Médecine*, 5 avril 1898).

Résumé des conférences faites à la Sorbonne sur les voyelles.

Exercices acoustiques chez les sourds-muets.

Traitement de la surdité par le massage (*Société de biologie*).

La méthode graphique dans l'étude des voyelles (*Institut*).

Synthèse des voyelles (*Institut*).

Les phonographes et l'étude des voyelles. In-8° de 19 p., avec fig.

Rôle de la cavité buccale et des ventricules de Morgagni dans la phonation (*Société de biologie*).

Rôle de l'arthritisme dans la pharyngite granuleuse (*Académie de Médecine*, 1899).

Théorie de la formation des voyelles, avec 43 fig., ouvrage couronné par l'Institut (Prix Barbier, 1900).

Acoumètre normal, appareil couronné par la Faculté de médecine (Prix Barbier, 1900).

Rôle de la chaîne des osselets dans l'audition (*Académie de Médecine*, 1900).

Quelques remarques sur les otolithes de la grenouille (*Institut*, 1901).

Sur les otolithes de la grenouille (*Institut*, 1901).

Traitement scientifique de la surdité, travail couronné par l'Académie de Médecine (Prix Meynot, 1902).

A propos du liquide de l'oreille interne chez l'homme (*Société de biologie*, janvier 1902).

Contribution à la physiologie de l'oreille interne (*Institut*, janvier 1903).

Action sur l'oreille, à l'état pathologique, des vibrations fondamentales des voyelles (*Institut*, février 1903).

Pathogénie et traitement de l'otite de scléreuse (*Revue des maladies de la nutrition*, janvier, avril, mai 1903).

A propos de la physiologie de l'oreille interne (*Institut*, mars 1903).

Action sur l'oreille à l'état pathologique des vibrations fondamentales des voyelles (*Institut*, février 1903).

Mesure et développement de l'audition chez les sourds-muets. In-8° de 68 p., avec 38 fig.(*Académie de Médecine*, 24 novembre 1903).

Mode d'action des vibrations sur le système nerveux (*Institut*, février 1904).

Comment on peut modifier la voix des sourds-muets (*Académie de Médecine*, 27 avril 1904).

Théorie élémentaire de l'audition (*Société française de Physique*, 1904).

Sensibilité spéciale de l'oreille physiologique pour certaines voyelles (*Institut*, janvier 1905).

Diagnostic différentiel des lésions de l'oreille moyenne et de l'oreille interne (*Académie des Sciences*, février 1905).

Mesure et développement de l'audition, 1905. In-8° de 117 p., avec 52 fig.

Contribution à l'étude de l'organe de Corti (*Institut*, octobre 1905).

Pourquoi certains sourds-muets entendent mieux les sons graves que les sons aigus (*Institut*, octobre 1905).

Qualités acoustiques de certaines salles pour la voix parlée, 10 fig. (*Institut*, avril 1906).

Contribution à l'étude de l'audition des poissons (*Inst.*, 26 novembre 1906).

Photographie rapide des principales vibrations de la voix chantée et parlée (*Société philomathique*, janvier 1907).

La portée de certaines voix (*Académie de Médecine*, 21 mai 1907).

Travail développé pendant la phonation (*Institut*, 27 mai 1907).

Audition et phonation chez les sourds-muets (*Académie de Médecine*, 29 octobre 1907).

Développement de l'énergie de la voix par des exercices respiratoires (*Institut*, novembre 1907).

Augmentation de la capacité vitale et du périmètre thoracique chez les enfants (*Institut*, 15 juin 1908).

Photographie des vibrations de la voix (*Institut*, 23 mars 1908).

Contribution à l'étude de l'audition (*Institut*, 12 octobre 1908).

Différents tracés d'une même voyelle chantée (*Institut*, novembre 1908).

Contribution à l'étude de la voix chantée ; voix de tête et de poitrine (*Institut*, 11 janvier 1909).

Résumé du cours libre fait à la Sorbonne sur la physiologie de la voix parlée et chantée (1904-1910).

Utilité de la méthode graphique dans l'étude des instruments de musique anciens (*Institut*, 15 mars 1909).

Les voyelles laryngiennes (*Société philomathique*, 27 mars 1909).

La respiration chez les chanteurs (*Institut*, 25 avril 1909).

Étude des vibrations laryngiennes (*Institut*, 22 novembre 1909).

La photographie de la voix dans la pratique médicale (*Institut*, 24 janvier 1910).

Développement de l'énergie de la voix (*Institut*, 9 mai 1910).

Les bourdonnements d'oreille (*Institut*, 7 novembre 1910).

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.